

Mädätyksen, energiahyödyntämisen ja biopolttoaineen tuotannon elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset

Biojätteen ja paistorasvan käsittelyvaihtoehdot



Mädätyksen, energiahyödyntämisen ja biopolttoaineen tuotannon elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset

Biojätteen ja paistorasvan käsittelyvaihtoehdot

Manninen Kaisa, Judl Jáchym, Myllymaa Tuuli

Helsinki 2016

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

YMPÄRISTÖMINISTERIÖN RAPORTTEJA 3 | 2016
Ympäristöministeriö
Ympäristönsuojeluosasto

Taitto: Anja Järvinen, valtioneuvoston hallintoyksikkö
Kansikuva: Kaisa Manninen

Julkaisu on saatavana internetistä:
www.ym.fi/julkaisut

Helsinki 2016

ISBN 978-952-11-4477-6 (PDF)
ISSN 1796-170X (verkkokj.)

ESIPUHE

Euroopan komission annettua ensimmäisen kiertotalouspaketin ja siihen sisältyneen jätedirektiivien muutosehdotuksen kesällä 2014 Suomessa virisi vilkas keskustelu siitä, miten ehdotetut nykyistä selvästi tiukemmat kierrätystavoitteet vaikuttavat mahdollisuuteen tuottaa jätteestä biopolttoainetta. Jätedirektiivin etusijajärjestys asettaa kierrätyksen etusijalle jätteen energiana hyödyntämiseen nähden. Biopolttoaineen tuotanto jätteestä tulkitaan energiahyödyntämiseksi niissä tapauksissa, kun biopolttoainetuotannon jäännösjätettä ei käytetä hyödyksi lannoitteena tai maanparannusaineena. Jätelain etusijajärjestyksestä on kuitenkin mahdollista poiketa, jos se on elinkaariajattelun mukaisesti perusteltavissa ja sillä päästään ympäristön kannalta parhaaseen tulokseen. Jätteistä ja tähteistä valmistettujen liikennekäyttöön tarkoitettujen biopolttoaineiden tuotantoa ja käyttöä on edistetty Suomessa voimakkaasti ja sitä pidetään keskeisenä keinona kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä ja uusiutuvan energian osuuden kasvattamista koskevien tavoitteiden saavuttamiseksi.

Koska biopolttoaineista ei ole ennen tätä tehty elinkaarilaskelmia jätehuollon näkökulmasta, tilasi ympäristöministeriö Suomen ympäristökeskukselta tämän elinkaariselvityksen, jossa arvioidaan mädätyksen, arinapolton ja kehittyneiden biopolttoaineiden tuotannon ympäristövaikutuksia tarkastelemalla näitä menetelmiä erilliskerätyn biojätteen ja paistorasvan käsittelyvaihtoina. Selvityksen tarkoituksena on tuottaa tarpeellista taustatietoa Euroopan unionissa käytäviin neuvotteluihin kiertotaloudesta, biotaloudesta ja jätedirektiivien uudistamisesta. Suomen ympäristökeskuksessa asiaa ovat tutkineet Kaisa Manninen, Jáchym Judl sekä Tuuli Myllymaa. Neste ja ST 1 ovat ystävällisesti antaneet tietojaan tutkijoiden käyttöön. Työtä ovat ympäristöministeriössä ohjanneet Riitta Levinen ja Sirje Stén. Kiitokset kaikille työhön osallistuneille!

Helsingissä 7.1.2016

Ympäristöministeriö

SISÄLLYS

1 Johdanto	7
2 Työn toteutus ja tavoitteet	8
3 Biojätteiden käsittelyvaihtoehdot	9
4 Paistorasvan käsittelyvaihtoehdot	11
5 Tutkimuksessa käytetyt menetelmät	13
5.1 Yleistä elinkaariarviointimenetelmästä	13
5.1.1 Työn tavoitteet, menetelmät, soveltamisala ja toiminnallinen yksikkö	13
5.2 Tuloksille laaditut epävarmuustarkastelut	14
6 Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen elinkaaritarkastelut	16
6.1 Inventaariodata	16
6.2 Biojätteen hyödyntäminen bioetanolin tuotannossa	16
6.3 Biojätteen mädätys ja biokaasun sekä mädätteen hyödyntäminen	19
6.4 Biojätteen energiahyödyntäminen	21
7 Paistorasvan käsittelyvaihtoehtojen elinkaaritarkastelut	22
7.1 Paistorasvan hyödyntäminen uusiutuvan dieselin tuotannossa	22
7.2 Paistorasvan mädätys ja biokaasun ja mädätteen hyödyntäminen	23
7.3 Paistorasvan energiahyödyntäminen	24
8 Biojätteen hyödyntämisvaihtoehtojen elinkaariarvioinnin tulokset	25
8.1 Biojätteen hyödyntämisvaihtoehtojen ilmastonmuutosvaikutukset	25
8.2 Biojätteen hyödyntämisvaihtoehtojen happamoittavat vaikutukset	27
8.3 Biojätteen hyödyntämisvaihtoehtojen rehevöittävät vaikutukset	28
8.4 Biojätteen hyödyntämisvaihtoehtojen nettoympäristövaikutukset sekä epävarmuustarkastelun tulokset	29
8.5 Biojätteen hyödyntämisvaihtoehtojen energiatase	30
8.6 Ravinteiden kierto biojätteiden hyödyntämisketjuissa	32

9 Paistorasvan hyödyntämisvaihtoehtojen elinkaariarvioinnin tulokset	33
9.1 Paistorasvan hyödyntämisvaihtoehtojen ilmastomuutosvaikutukset	33
9.2 Paistorasvan hyödyntämisvaihtoehtojen happamoittavat vaikutukset	35
9.2 Paistorasvan hyödyntämisvaihtoehtojen rehevöittävät vaikutukset	36
9.3 Paistorasvan hyödyntämisvaihtoehtojen nettoympäristövaikutukset sekä epävarmuustarkastelun tulokset	37
9.4 Paistorasvan hyödyntämisvaihtoehtojen energiatase	39
9.5 Paistorasvan hyödyntämisvaihtoehtojen ravinteiden kierto	40
10 Yhteenveto ja johtopäätökset	41
Lähteet	45
Kuvailulehti	46
Presentationsblad	47
Documentation page	48

1 Johdanto

Suomessa on edistetty määrätietoisesti jätteistä ja tähteistä valmistettujen liikennekäyttöön tarkoitettujen biopolttoaineiden tuotantoa ja käyttöä. Näiden kestävästi tuotettujen, ns. toisen tai kolmannen sukupolven biopolttoaineiden tuotannon ja käytön edistäminen on kirjattu keskeiseksi tavoitteeksi useissa Suomen viimeaikaisissa ohjelmissa ja poliittisissa linjauksissa, kuten biotalousstrategiassa (Biotalous, 2014), kasvun uusien kärkien cleantechin ja biotalouden vauhdittamisesta annetussa valtioneuvoston periaatepäätöksessä (TEM, 2014a) sekä parlamentaarisen energia- ja ilmastokomitean mietinnössä ”Energia- ja ilmastotiekartta” (TEM, 2014b). Ns. jakeluvuolovelvoitelain (446/2007) mukaan polttoaineiden jakelijoiden tulee toimittaa kestävästi tuotettuja biopolttoaineita kulutukseen vähintään 20 % vuonna 2020. Pääministeri Juha Sipilän hallituksen strategisessa ohjelmassa (VNK, 2015) on sitouduttu nostamaan tämä osuus 40 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä.

EU:n jätedirektiivissä ja jätelaissa säädetyn etusijajärjestyksen (jätehierarkian) mukaan jätteen kierrätys on ensisijaista jätteen muuhun hyödyntämiseen, kuten energiana hyödyntämiseen nähden. Jätteen kierrätystä on jätteen valmistaminen tuotteeksi, materiaaliksi tai aineeksi joko alkuperäiseen tai muuhun tarkoitukseen. Jätteen valmistamista polttoaineeksi ei katsota kierrätykseksi, ellei kyse ole biologisesta käsittelyprosessista, jossa syntyvä jäännöstuote käytetään materiaalina hyödyksi esim. maanparannusaineena. Etusijajärjestys ei kuitenkaan ole ehdoton jätteen käsittelyvaihtoehtojen tärkeysjärjestys, vaan siitä voidaan poiketa, jos tämä on elinkaari-ajattelun mukaisesti perusteltua tällaisen jätteen syntymistä ja jätehuoltoa koskevien kokonaisvaikutusten kannalta. Muun biomassan osalta vastaavantyyppinen tärkeysjärjestys sisältyy ns. kaskadiperiaatteeseen, jota ei kuitenkaan ole yksiselitteisesti määritelty eikä sisällytetty EU:n eikä Suomen lainsäädäntöön.

Tässä selvityksessä arvioitiin elinkaarimenetelmällä mädätyksen, energiahyödyntämisen ja kehittyneiden biopolttoaineiden tuotannon ympäristövaikutuksia tarkastelemalla näitä menetelmiä erilliskerätyn biojätteen ja paistorasvan käsittelyvaihtoina. Selvityksen tarkoituksena on tuottaa tarpeellista taustatietoa lähiaikoina Euroopan unionissa käytäviin neuvotteluihin kiertotaloudesta, biotaloudesta ja jätedirektiivien uudistamisesta. Biopolttoaineiden kestävyysarvioita on toteutettu aiemmin vertailemalla niitä muihin polttoaineisiin. Tässä työssä vertailu on tehty vaihtoehtoisten jätehuoltovaihtoehtojen välillä.

2 Työn toteutus ja tavoitteet

Työssä keskityttiin biopolttoaineiden¹ jäteperäisiin biopohjaisiin raaka-aineisiin. Tällä hetkellä Suomessa jätöpohjaisia liikennebiopolttoaineita valmistavat St1 Biofuels, Neste ja BioGTS. St1 käyttää Bionolix-prosessissa yhdyskuntien biojätettä² bioetanolin valmistukseen. Nesteen NEXBTL-prosessissa tuotetaan puolestaan uusiutuvaa dieseliä yli kymmenestä raaka-aineesta. BioGTS tuottaa biodieseliä biojätöpohjaisista öljyistä ja rasvoista.

Työssä selvitettiin biopolttoaineiden tuotantoon soveltuvien jättemateriaalien määriä valtakunnallisesta ympäristönsuojelun tietojärjestelmästä (VAHTI). Määrien perusteella tarkasteluun valikoitui yhdyskuntien biojäte sekä paistorasva. Suomen ympäristökeskuksen ja ympäristöministeriön asiantuntijat valitsivat biojätteelle ja paistorasvalle todennäköisimmät käsittelymenetelmät, joita tarkastelussa vertailtiin. Vertailu tehtiin kummallekin jättemateriaalille erikseen, eikä eri jättemateriaalien käsittelyvaihtoehtoja verrattu keskenään. Työn tarkoituksena oli tutkia jätenäkökulmasta yhden jättemateriaalin erilaisia käsittelyvaihtoehtoja ja elinkaari vaikutuksia suhteessa toisiinsa.

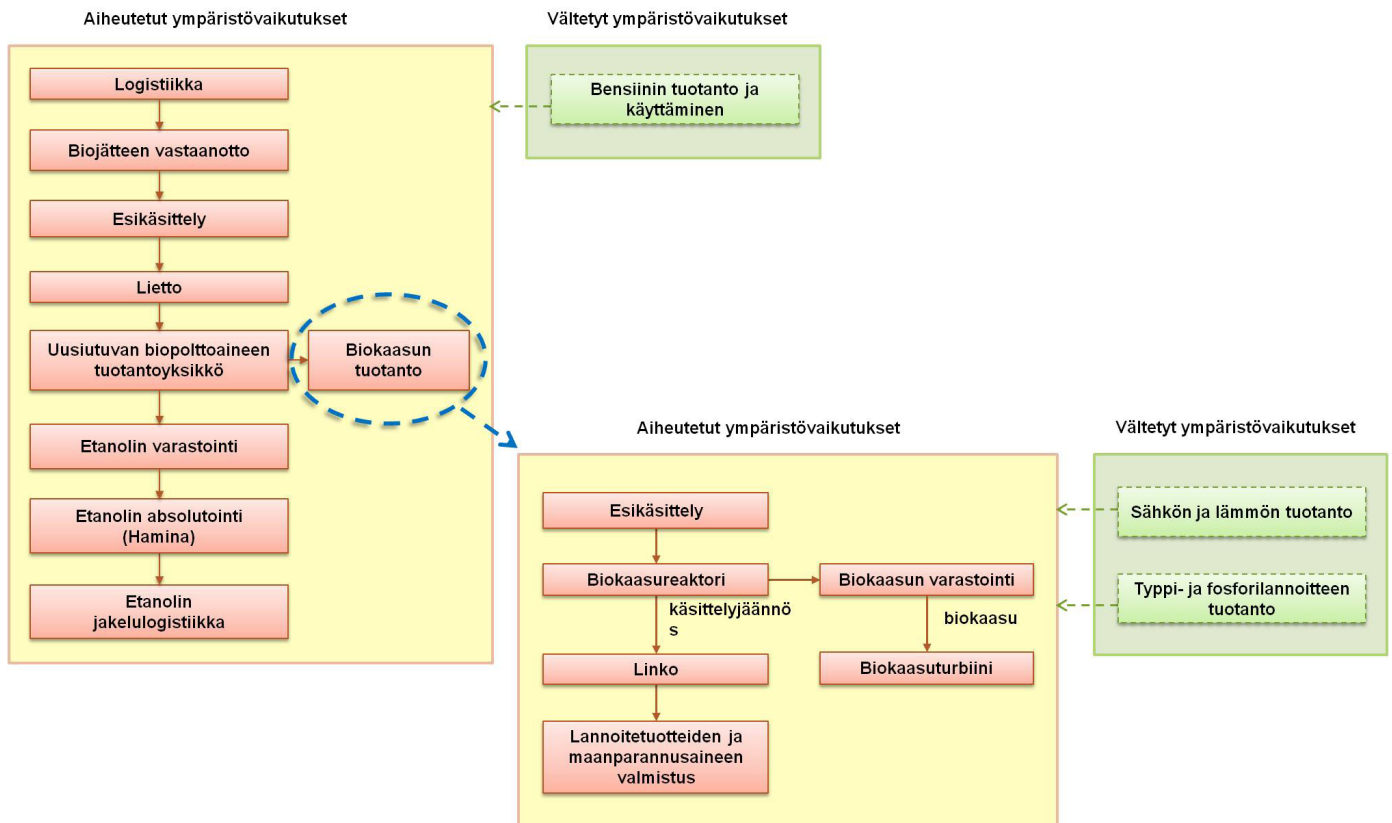
¹ Biopolttoaineilla tarkoitetaan nestemäisiä tai kaasumaisia liikenteessä käytettäviä polttoaineita, jotka tuotetaan biomassasta. Biomassalla tarkoitetaan maataloudesta (sekä kasvi- että eläinperäiset aineet mukaan lukien), metsätaloudesta ja niihin liittyviltä tuotannonaloilta, myös kalastuksesta ja vesiviljelystä, peräisin olevien biologista alkuperää olevien tuotteiden, jätteiden ja tähteiden biohajoavaa osaa sekä teollisuus- ja yhdyskuntajätteiden biohajoavaa osaa. (2009/28/EY)

² Biojätteellä tarkoitetaan kotitalouksissa, ravintoloissa, ateriapalveluissa ja vähittäisliikkeissä syntyvää biologisesti hajoavaa elintarvike- ja keittiöjätettä, elintarviketuotannossa syntyvää vastaavaa jätettä sekä biologisesti hajoavaa puutarha- ja puisto-jätettä (VNA 179/2012)

3 Biojätteiden käsittelyvaihtoehdot

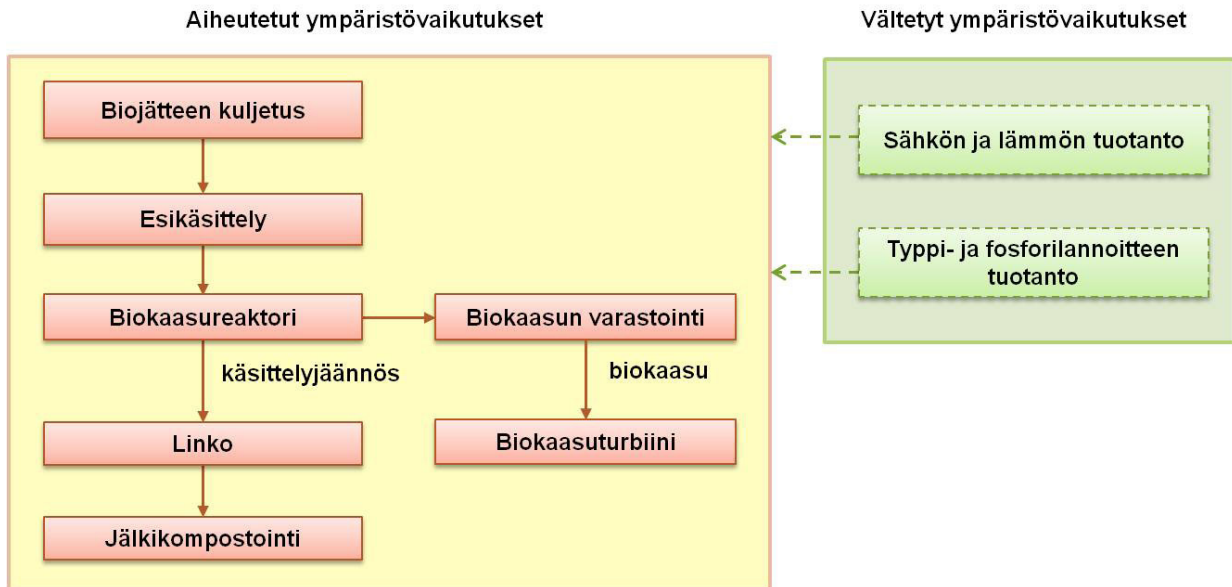
Elinkaariarvioinnilla mallinnettaviksi biojätteiden käsittelymenetelmiksi valittiin todennäköisimmät Suomen jätehuoltojärjestelmissä toteutuvat vaihtoehdot. Biojätteen käsittelyketjuiksi valittiin bioetanolia tuottava St1 Biofuels Oy:n Bionolix-prosessi (Kuva 1), mädätysprosessi (Kuva 2) ja energiahyödyntäminen jätteenpolttolaitoksessa (Kuva 3).

Bioetanolin tuotantoprosessi (St1 Biofuels Oy:n Bionolix-prosessi, Kuva 1) koostuu bioetanolin tuotantovaiheesta, jossa tuotetulla etanolilla voidaan korvata bensiiniä. Etanolin tuotantoprosessin yhteydessä tuotetulla biokaasulla voidaan korvata sähköä ja lämpöä sekä mädätysjäännöksestä tuotetuilla lannoitevalmisteilla kemiallisia lannoitteita.



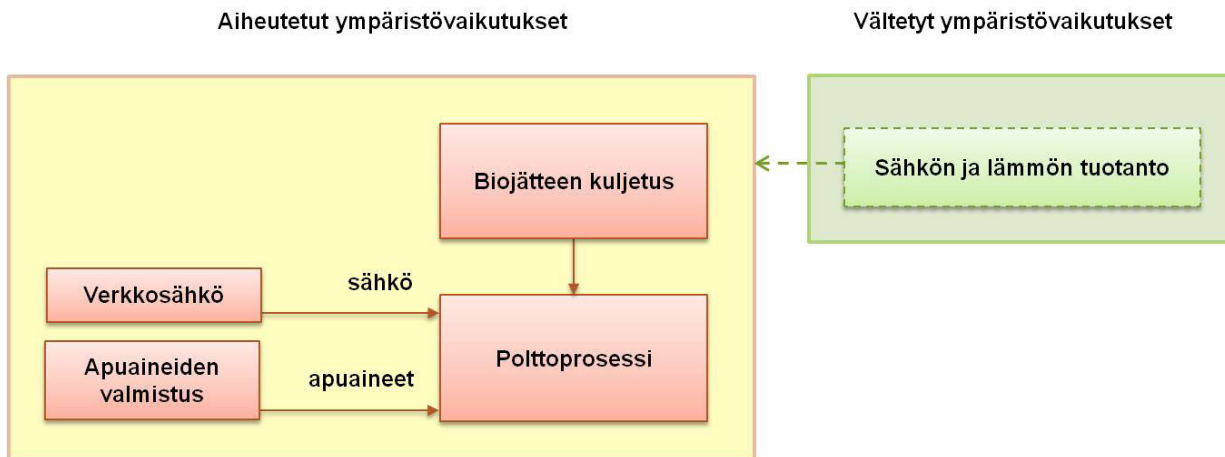
Kuva 1. St1 Biofuels Oy:n bioetanolia tuottava Bionolix-prosessikuvaus. Keltaisella rajatut laatikot kuvaavat aiheutettuja ympäristövaikutuksia ja vihreällä rajatut mahdollisia vältettäviä ympäristövaikutuksia.

Biojätteen mädätysvaihtoehdossa (Kuva 2) biokaasulla tuotetaan sähköä ja lämpöä, jolloin voidaan korvata nykyistä sähkön ja lämmön tuotantoa. Vaihtoehtoisia käyttötapoja olisi myös biokaasun syöttäminen maakaasuverkkoon tai jalostaminen liikennepolttoaineeksi. Mädätysjäännöksellä voidaan korvata myös kemiallisia lannoitteita.



Kuva 2. Biojätteen mädätysketjun prosessikuvaus. Keltaisella rajatut laatikot kuvaavat aiheutettuja ympäristövaikutuksia ja vihreällä rajatut mahdollisia vältettäviä ympäristövaikutuksia.

Biojätteen energiahyödyntämisvaihtoehdossa, biojäte oletetaan poltettavan arinapolttoon perustuvassa jätteenpolttolaitoksessa (Kuva 3). Biojätteen poltolla tuotetulla energialla voidaan korvata nykyistä sähkön ja lämmön tuotantoa.

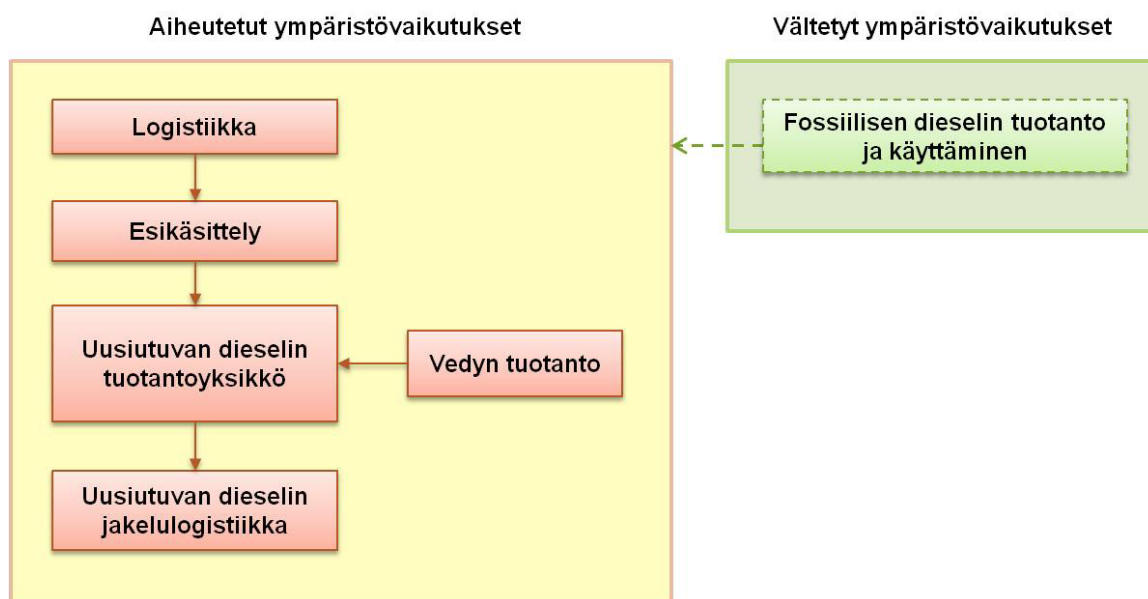


Kuva 3. Biojätteen energiahyödyntämisen prosessikuvaus. Keltaisella rajatut laatikot kuvaavat aiheutettuja ympäristövaikutuksia ja vihreällä rajatut mahdollisia vältettäviä ympäristövaikutuksia.

4 Paistorasvan käsittelyvaihtoehdot

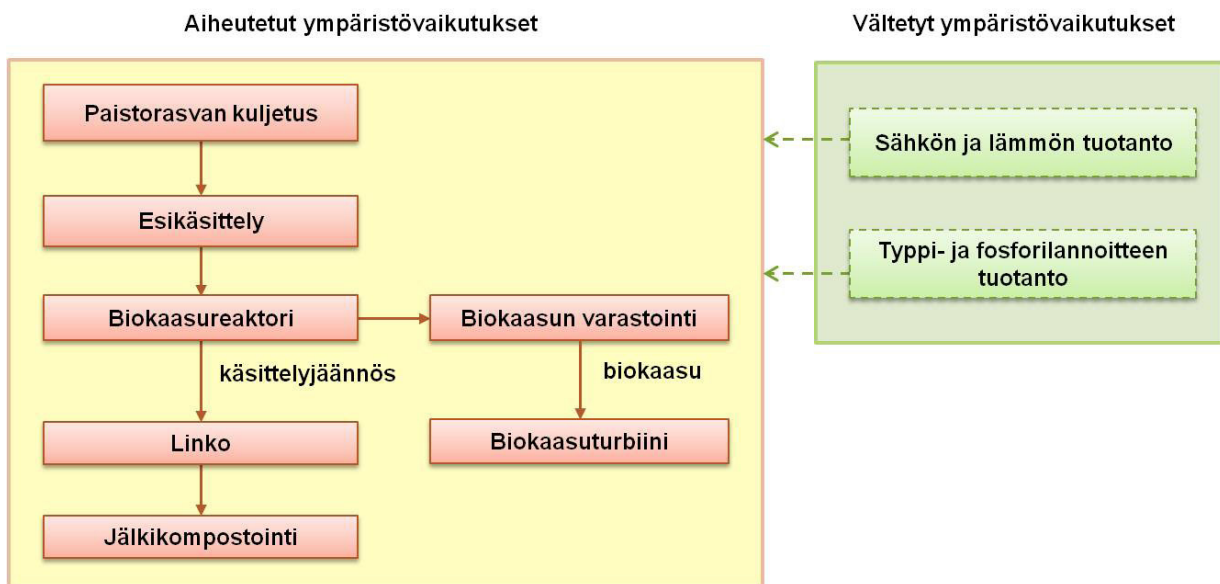
Paistorasvan vertailtaviksi käsittelyketjuiksi valittiin kolme vaihtoehtoa: uusiutuvan dieselin valmistus (tekniikkana Nesteen NEXBTL-prosessi, Kuva 4), mädätys (Kuva 5) ja energiahyödyntäminen jätteenpolttolaitoksessa (Kuva 6).

Uusiutuvan dieselin tuotantoprosessissa (Kuva 4) on oletettu, että paistorasvasta valmistetulla uusiutuvalla dieselillä voidaan korvata fossiilista dieseliä. Prosessiin vaaditaan raaka-aineeksi vetyä.



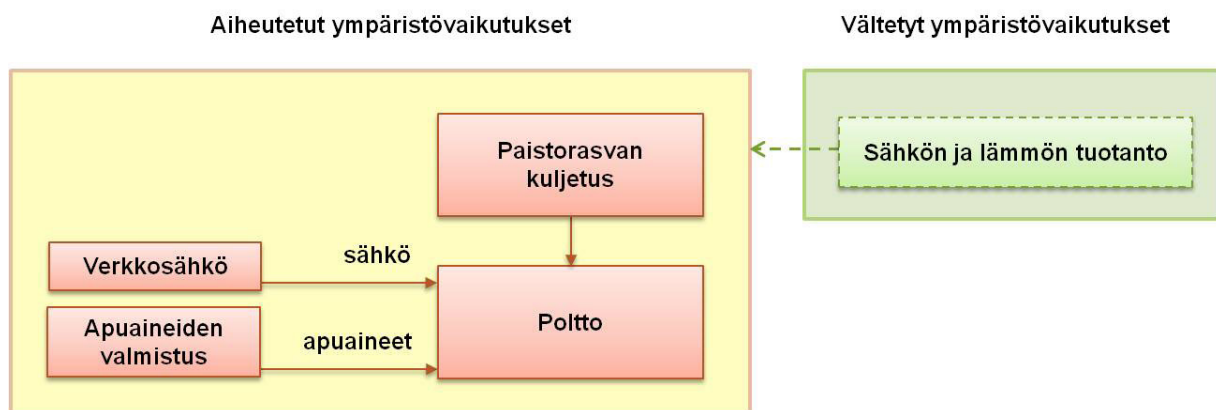
Kuva 4. NEXBTL:n uusiutuvan dieselin tuotannon prosessikuvaus. Keltaisella rajatut laatikot kuvaavat aiheutettuja ympäristövaikutuksia ja vihreällä rajatut mahdollisia vältettäviä ympäristövaikutuksia.

Paistorasvan mädätysvaihtoehdossa (Kuva 5) mädätyksen tuottamalla biokaasulla tuotetaan sähköä ja lämpöä, joilla voidaan korvata nykyistä sähkön ja lämmön tuotantoa. Tuotetulla mädätysjäännöksellä oletetaan korvattavan kemiallisia lannoitteita suhteessa niiden sisältämiin ravinteisiin. Vaihtoehtoisia käyttötapoja olisivat olleet myös biokaasun syöttäminen maakaasuverkkoon tai jalostaminen liikennepolttoaineeksi, mutta niitä ei ole tarkasteltu tässä selvityksessä.



Kuva 5. Paistorasvan mädätyksen prosessikuvaus. Keltaisella rajatut laatikot kuvaavat aiheutettuja ympäristövaikutuksia ja vihreällä rajatut mahdollisia vältettäviä ympäristövaikutuksia.

Paistorasvan energiahyödyntämisvaihtoehdossa, paistorasva oletetaan poltettavan arinapolttoon perustuvassa jätteenpolttolaitoksessa (Kuva 6). Paistorasvan poltolla jätteenpolttolaitoksessa voidaan tuottaa energiaa, jolla voidaan korvata nykyistä sähkön ja lämmön tuotantoa.



Kuva 6. Paistorasvan energiahyödyntämisen prosessikuvaus. Keltaisella rajatut laatikot kuvaavat aiheutettuja ympäristövaikutuksia ja vihreällä rajatut mahdollisia vältettäviä ympäristövaikutuksia.

5 Tutkimuksessa käytetyt menetelmät

5.1

Yleistä elinkaariarviointimenetelmästä

Ympäristövaikutusten arviointi tehtiin käyttäen elinkaariarviointi-menetelmää. Elinkaariarviointi on järjestelmäanalyttinen menetelmä, jonka tavoitteena on tunnistaa uuden tuotteen tai palvelun kaikki mahdolliset vaikutukset – sekä suorat prosessipäästöt että välilliset päästöt eli energian tuotannon, raaka-aineiden valmistuksen ja alkutuotannon luonnonvarojen käytön aiheuttaman ympäristökuormituksen. Kattavaan tuotteiden tai palveluiden elinkaariarviointitarkasteluihin sisällytetään tutkittavan toiminnan aiheuttamat välilliset heijastusvaikutukset muihin tuotantojärjestelmiin. Vaikutukset voivat olla joko päästöjä lisääviä tai päästöjä vähentäviä. Kun toimenpiteiden välilliset vaikutukset muissa järjestelmissä ovat päästöjä vähentäviä, niitä kutsutaan vältetyiksi prosesseiksi ja vältetyiksi päästöiksi ja vertailevan toiminnan kuvataan korvaavan näitä tuottamatta jääneitä tuotteita ja päästöjä.

5.1.1

Työn tavoitteet, menetelmät, soveltamisala ja toiminnallinen yksikkö

Tässä tarkastelussa laskettiin biojätteestä ja paistorasvasta tuotetun biopolttoaineen ympäristövaikutukset ja verrattiin niitä vaihtoehtoihin käsittelytapoihin (mädätys ja energiahyödyntäminen jätteenpolttolaitoksessa) ja huomioitiin mahdolliset korvattavat prosessit, jos käsittelyssä syntyvillä tuotteilla korvataan jotakin nykytuotantoa. Työn tavoitteena on selvittää, biojätteiden ja paistorasvojen käsittelymenetelmien ympäristövaikutuksia ja vertailla käsittelyvaihtoehtojen aiheuttamia kuormituksia ja nettovaikutuksia toisiinsa.

Laskentatyökaluna käytettiin SimaPro-elinkaarimallinnusohjelmaa, jonka avulla voidaan tarkastella useita ympäristövaikutusluokkia. LCA-tarkastelut tehtiin noudattaen yleisiä kriteerejä jätehuollon elinkaaritarkasteluissa (Myllymaa & Dahlbo, 2012). Tuloksiin sisällytettiin ympäristövaikutusluokista ilmastonmuutos, happamoituminen ja rehevöityminen. Nämä arvioitiin tarkasteltujen bioperäisen materiaalien ja niiden välillisten vaikutusten kannalta keskeisimmiksi potentiaalisiksi vaikutusluokiksi. Elinkaariarviointimenetelmän yleisesti hyväksytyjen vaikutusmallitulkintojen mukaisesti bioperäisten CO₂-päästöjen ei ajatella aiheuttavan ilmastonmuutosvaikutusta, koska hiilidioksidi sitoutuu biomassaan sen kasvaessa. Tämän takia biopolttoaineiden liikennekäytöstä, poltosta tai energiantuotannosta ei aiheudu ilmastomuutosvaikutusta.

Lisäksi tehtiin prosessien sisäinen energiatasetarkastelu, jossa huomioitiin prosessien käyttämä energia ja verrattiin sitä prosessista saatuun energiaan Biojätteiden ja paistorasvan nykyiset käsittelymenetelmät eivät ole mukana tarkastelussa, eli tarkastelu ei huomioi vaikutuksia, jotka aiheutuisivat siirtymisestä nykyisistä käsittelyme-

netelmistä tässä selvityksessä tarkasteltuihin menetelmiin. Nykyiset käsittelymenetelmät muodostaisivat kuitenkin jokaiseen tarkasteltavaan vaihtoehtojärjestelmään päästöiltään ja vaikutuksiltaan yhtä suuren elinkaarivaiheen, joka ei siten vaikuttaisi vertailun tuloksiin.

Elinkaariarvioinnissa määritellään toiminnallinen yksikkö, jota kohti tulokset lasketaan. Tässä tarkastelussa tulokset on laskettu yhtä käsittelyyn toimitettua jätetonna kohti (biojätetonna tai paistorasvatonna), eli toiminnallisena yksikkönä on 1 t jätettä.

Tuloksia tarkasteltaessa on huomiotava, että laskenta ei noudata RES-direktiivin (2009/28/EY) laskentaohjeistusta, joten tuloksia ei voi hyödyntää laskettaessa RES-direktiivin mukaista kasvihuonekaasupäästövähennemää.

5.2

Tuloksille laaditut epävarmuustarkastelut

Tutkimuksessa tarkasteltavien järjestelmien mallintamisen lähtötietojen tuottamisessa on käytetty osittain arvioita. Etenkään energiahöydyntämisen ja mädätyslaitosten toimintaa kuvaavat tiedot eivät täysin edusta olemassa olevia tuotantolaitoksia, vaan laskelmat tehtiin käyttäen keskimääräisiä arvoja.

Kirjallisuuteen ja tietokantoihin perustuvat tiedot ja oletukset tuovat elinkaarilaskelmiin epävarmuutta, joilla voi olla lopputuloksiin suurikin merkitys. Siksi laskelmiin liittyvillä epävarmuustarkasteluilla voidaan parantaa tulosten luotettavuutta. Tavoitteena on tunnistaa kokonaisuudessa sellaiset muuttujat, joiden arvolla on suurin merkitys tuloksiin ja toisaalta joiden arvo itsessään on epävarmin. Tuloksille tehtyjen muuttuja-analyysien avulla voitiin päätellä, että tulokset ovat herkkiä etenkin oletuksille, jotka liittyvät jätteenpoltto- ja mädätysprosesseissa tuotetulla energialla vältettäviin prosesseihin (hyvitettävät päästöt).

Tuloksille tehtiin epävarmuustarkastelu käyttäen Monte Carlo -analyysiä. Epävarmoiksi tunnistetuille vältettäville prosesseille määritettiin kaksi eri vaihtoehtoa, joiden oletetaan edustavan tulosten vaihtelun ääripäitä. Tämän jälkeen prosesseille laadittiin Monte Carlo -simulointiin perustuvat analyysit käyttäen 20 000 iteraatio-kierroksen kattava epävarmuustarkastelu, jossa epävarmoiksi tunnistettujen muuttujien arvoja muutellaan satunnaisina yhdistelminä annettujen vaihteluvälien rajoissa. Analyysissa määritettyjen prosessien suhteet vaihtelivat välillä 0–100 %. Tulosten pohjalta saatiin määritettyä vaihteluväli tuloksille. Hyvitettävät prosessit ja niissä käytetyt prosessivaihtoehdot Ecoinvent-tietokannasta on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Laskennassa käytetyt vaihtoehtoiset vältettävät prosessit.

Prosessi	Oletus vaihtoehtoisista vältettävistä prosesseista
Bioetanolin valmistuksessa sekä biojätteen ja paistorasvan mädätyksessä biokaasulla tuotettu sähkö sekä biojätteen ja paistorasvan poltosta saatu sähkö myydään verkkoon, jolloin saadaan korvattua muualla tuotettua sähköä.	Vesivoimalla tuotettu sähkö (Electricity, high voltage {FI}) electricity production, hydro, run-of-river) (saavutetaan vähiten vältettäviä päästöjä) Kivihiilellä tuotettu sähkö (Electricity, high voltage {FI}) electricity production, hard coal) (saavutetaan eniten vältettäviä päästöjä)
Bioetanolin valmistuksessa sekä biojätteen ja paistorasvan mädätyksessä biokaasulla tuotettu sähkö sekä biojätteen ja paistorasvan poltosta saatu lämpö myydään verkkoon, jolloin saadaan korvattua muualla tuotettua lämpöä.	Puuhakkeella tuotettu kaukolämpö (Heat, district or industrial, other than natural gas {FI}) heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014) (saavutetaan vähiten vältettäviä päästöjä) Öljyllä tuotettu kaukolämpö (Heat, district or industrial, other than natural gas {Europe without Switzerland}) heat production, heavy fuel oil, at industrial furnace IMW) (saavutetaan eniten vältettäviä päästöjä)
Bioetanolin valmistuksessa sekä biojätteen ja paistorasvan mädätyksessä biokaasulla tuotettu sähkö sekä biojätteen ja paistorasvan saatu lämpö myydään verkkoon, jolloin saadaan korvattua muualla tuotettua lämpöä. Kaukolämmölle ei kuitenkaan aina ole tarvetta, jolloin hyödyntämisaste vaihtelee.	Oletetaan, että kaukolämpöä ei saada hyödynnettyä, jolloin hyödyntämisaste 0 % Oletetaan, että tuotettu kaukolämpö saadaan hyödynnettyä kokonaan, jolloin hyödyntämisaste 100 %
Bioetanolin valmistuksessa sekä biojätteen ja paistorasvan mädätyksessä tuotetaan lannoitustuotteita, joiden oletetaan korvaavan kemiallisia N- ja P-lannoitteita. Tuotettujen lannoitevalmisteiden markkinoissa on kuitenkin epävarmuutta, joten korvaavuusastetta vaihdellaan.	Lannoitustuotteet korvaavat 0 % kemiallisia lannoitteita Lannoitustuotteet korvaavat 100 % kemiallisia lannoitteita

6 Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen elinkaaritarkastelut

6.1

Inventaariodata

Elinkaariarvioinnin laskentaa varten kerättiin inventaariodataa eri käsittelyvaihtoehtojen yksikköprosesseista. Tarvittavia tietoja ovat kuhunkin yksikköprosessiin liittyvät syötteet ja tuotokset, kuten energiankulutus, käytetyt raaka- ja apuaineet (esim. kemikaalit) sekä prosessin suorat päästöt (esim. kuljetus). Inventaariodatan keräämiseen haastateltiin St1:n ja Nesteen asiantuntijoita sekä käytettiin aikaisempia tutkimuksia sekä Ecoinvent-elinkaaritietokantaa.

Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen käytetyt yksikköprosessit ja tietolähteet on esitetty seuraavissa kappaleissa.

6.2

Biojätteen hyödyntäminen bioetanolin tuotannossa

Bioetanolin tuotannon inventaariotiedot perustuvat pääosin St1:n Bionolix-prosessin ympäristölupaan (Etelä-Suomen aluehallintoviraston päätös nro 142/2012/1) täydennettynä St1:n asiantuntijoilta saaduilla tiedoilla. Tuotantoprosessien inventaariotiedot (mm. energiankulutus, kemikaalien määrät) perustuvat St1:ltä saatuihin tietoihin. Prosessien päästötiedot on saatu St1:ltä, Ecoinvent-tietokannasta sekä kirjallisuuslähteistä. Laitoksen ulkopuolelle toimitettavien jätteiden (muovi, metalli, sekajätteet, prosessirejekti, keräyspaperi, pahvi, kartonki ja voiteluöljy) käsittelyt eivät sisälly LCA-tarkasteluun. Arviointiin sisältyvät prosessit ja niiden tietolähteet on kuvattu tarkemmin taulukossa 2.

Taulukko 2. Bioetanolin tuotannon elinkaariarvioinnissa käytetyt prosessit ja tietolähteet.

Käytetyt prosessit	Tietolähde/lisätietoa mm. käytetty Ecoinvent-prosessi
Syötteet	
Bionolix-prosessi	StI
rekkakuljetus + dieselin valmistus	Rekkakuljetus: Lipasto-laskentajärjestelmä / Täysperävaunun yhdistelmä, kantavuus 40 t Dieselin valmistus: Ecoinvent / Diesel, low-sulfur {Europe without Switzerland}
prosessivesi	Ecoinvent / Tap water {Europe without Switzerland}
tuulisähkö	Ecoinvent / Electricity, high voltage {FI} electricity production, wind, 1-3MW turbine, onshore Alloc Def, U / StI käyttää prosesseissaan tuulisähköä
prosessihöyry, arinakattila	Tilastokeskus, Myllymaa et al. (2008): lämmön tuotanto puulla ja maakaasulla/ prosesseissa käytetty höyry tuotetaan pelleteillä
pelletin tuotanto	päästökertoimet perustuvat Judl. et al. 2014 tutkimuksen lähtöarvoihin
NaOH	Ecoinvent / Neutralising agent, sodium hydroxide-equivalent {GLO}
entsyymi	StI, Nielsen et al. (2007) / CO ₂ -päästö
hiiva	Cofalec, hiivan hiilijalanjälki
bioreaktorin apuaine	Ecoinvent / FeCl ₃ : Iron (III) chloride, without water, in 40% solution state {CH} Ecoinvent / HCl: Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {RER}
riikkihappo	Ecoinvent / Sulfuric acid {RER} production
jätevedenpuhdistus, Viikinmäki	Fred, 2008; Viikinmäen puhdistamon ympäristölupa
Vältettävät prosessit	
sähkö	Kts. Taulukko 1
kaukolämpö	Kts. Taulukko 1
typpilannoitteen valmistus	Kts. Taulukko 1. Ecoinvent / Nitrogen fertiliser, as N {RER} calcium ammonium nitrate production Alloc Def, U. Laitoksella syntyneen lannoitetuotteen liukoinen N-pitoisuus StI:n tuoteselosteesta
fosforilannoitteen valmistus	Kts. Taulukko 1. Ecoinvent / Phosphate fertiliser, as P ₂ O ₅ {RER} diammonium phosphate production Alloc Def, U. Laitoksella syntyneen lannoitetuotteen P-pitoisuus StI:n tuoteselosteesta
bensiinin valmistus	Ecoinvent / Petrol, low-sulfur {Europe without Switzerland} production Alloc Def, U
bensiiniautolla ajo	päästökerroin, Tilastokeskus

Bioetanolin tuotannon syötteet ja tuotokset on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Bionolix-prosessin syötteen ja tuotokset.

Tuotanto-vaihe	Syötteen	Määrä	Tuotokset	Määrä
Bionolix-prosessi				
	biojäte	19 500 t/v	85-p% etanoli-vesiseos	880 t/v
	vesi	10 690 t/v	syöte biokaasulaitokseen	30 700 t/v
	sähkö	2 430 MWh	muovirejekti	980 t/v
	höyry	9 260 MWh	prosessirejekti	1 690 t/v
			CO ₂ -bio	840 t/v
Biokaasuprosessi				
	syöte	30 700 t/v	biokaasu	1 998 150 m ³ /v
	sähkö	560 MWh	mädätysjäännös	28 420 t/v
Rejektiveden ja humusmassan käsittely				
	mädätysjäännös	28 425 t/v	puhdistettu jätevesi, josta prosessiin kierrätetään takaisin 30 %, 7484 t/v	24 945 t/v
	sähkö	630 MWh	rejektivesi	5 025 t/v
	höyry	1 427 MWh	humusmassa	2 580 t/v
	vesi	4 120 t/v		
Biokaasun käyttö ja energiantuotanto				
	pelletti	13 360 MWh	prosessihöyry	10 685 MWh
	biokaasu	12 860 MWh	sähkö biokaasusta	5 145 MWh
	kaatopaikkakaasu	8 310 MWh	kaukolämpö biokaasusta	5 270 MWh
	kattilan vesi	6 940 t/v	sähkö kaatopaikkakaasusta	33 25 MWh
	sähkö kattilalle	600 MWh	kaukolämpö kaatopaikka-kaasusta	3 410 MWh
	sähkö yhteensä	4 220 MWh		
	lämpö yhteensä	10 685 MWh		
Kemikaalit ja hyödykkeet				
	20-% natrium-hydroksidi	200 t/v		
	95-% rikkihappo	170 t/v		
	bioreaktorin apu-aine	110 t/v		
	entsyymit	65 t/v		
	hiiva	30 t/v		

Etanolin tuotantoprosessissa syntyy rankkia ja jätevettä, jotka johdetaan biokaasuprosessiin. Syntynyt biokaasu käytetään sähkön ja lämmön tuotantoon laitoksen omalla turbiinilla. Generaattorin hyötysuhde on 80 % (esitettyjen lukujen perusteella), josta sähköntuotannon osuus 49 % ja lämmöntuotannon 51 %. Tuotettu sähkö ja kaukolämpö myydään laitoksen ulkopuolelle.

Biokaasulaitokselta syntyvästä mädätysjäännöksestä tuotetaan rejektivettä, joka on kaupallistettu lannoitetuote sekä humusmassaa, joka on kaupallistettu maanparannusaine. Tuoteselosteista saadut rejektiveden (St1 Bionolix Lannoite) ja humusmassan (St1 Bionolix Luomu-Maanparannusaine) ravinnesisällöt on esitetty taulukoissa 4 ja 5. Laskennassa on oletettu, että tuotettu mädätysjäännös ja rejektivesi korvaavat typpilannoitetta perustuen liukoisien typen pitoisuuteen. Fosforilannoitteita oletetaan korvattavan fosforin kokonaispitoisuuden mukaan.

Taulukko 4. Stl:n Bionolix-lannoitteen pääravinteet.

	Kuiva-aineessa g/kg ka	Tuorepainossa kg/t	Tuorepainossa paino-%
Kokonaistyyppi (N):	100	15	1,5
Vesiliukoinen typpi (N):	80	12	1,2
Kokonaisfosfori (P):	3,2	0,5	0,05
Vesiliukoinen fosfori (P):	3	0,5	0,05

Taulukko 5. STI:n Bionolix Luomu-Maanparannusaineen pääravinteet.

	Kuiva-aineessa kg/t	Tuorepainossa kg/t
Kokonaistyyppi (N):	80	16
Vesiliukoinen typpi (N):	11	2,2
Kokonaisfosfori (P):	17	3,4
Vesiliukoinen fosfori (P):	1	0,25

Tuotettu etanoli korvaa bensiiniä, joten vältettävissä päästöissä on otettu huomioon bensiinin valmistuksen epäsuorat päästöt sekä ajonaikaiset suorat päästöt, kun käytetään etanolia bensiinin tilalla. Vältettävät päästöt on laskettu perustuen energiasältöön (etanoli 27 GJ/t ja moottoribensiini 41,8 GJ/t), mikä tarkoittaa sitä, että 1 t etanolia korvaa noin 0,6 t bensiiniä.

Elinkaariarvointimenetelmän yleisesti hyväksyttyjen vaikutusmallitulkintojen mukaisesti bioperäisten CO₂-päästöjen ei ajatella aiheuttavan ilmastonmuutosvaikutusta, koska hiilidioksidi sitoutuu biomassaansa sen kasvaessa. Tämän takia bioetanolia polttoaineena käyttävien autojen CO₂-päästöjen osalta ei oteta huomioon ilmastonmuutosvaikutusta. Muista päästöistä ei ollut tietoja saatavilla. Joitakin mittaustietoja on tehty VTT:n ja Stl:n tekemässä TransEco-tutkimusohjelmassa, jossa verrattiin flexifuel-autojen päästöjä 95E10 bensiiniä käyttäviin autoihin. (TransEco 2009-2013.)

6.3

Biojätteen mädätys ja biokaasun sekä mädätteen hyödyntäminen

Biojätteen mädätysvaihtoehdossa vertailtavaksi prosessiksi otettiin termofiilinen märkä mädätysprosessi, jonka energiankulutustiedot perustuvat Myllymaa et al. (2008) raporttiin. Biokaasun tuotantomäärän ja siitä saatavan energian sekä mädätteestä saatavien ravinnemäärien laskennassa käytettiin Biokaasulaskuri.fi:n tietoja (Biokaasulaskuri). Biojätteen ominaisuudet on esitetty taulukossa 6 ja biokaasulaitoksen energiankulutus ja -tuotantomäärät sekä mädätteestä saatavien ravinteiden määrät puolestaan taulukossa 7.

Taulukko 6. Biojätteen ominaisuudet (Biokaasulaskuri.fi).

Biojätteen ominaisuudet	Määrä
TS	27 %
CH ₄ -potentiaali	97 m ³ /t
N	2 %TS
P	0,4 %TS

Taulukko 7. Mädätyslaitoksen energiankulutus- ja tuotantotiedot sekä mädätteen sisältämien ravinteiden määrät (Myllymaa et al. 2008; Biokaasulaskuri.fi).

Laitoksen tiedot	Määrä
Sähkönkulutus	31,4 (esikäsittely 15, mädätyslaitos 16,4) kWh/t
Lämmönkulutus	66,4 kWh/t
Sähköntuotanto, CHP	321 kWh/t
Lämmöntuotanto, CHP	505 kWh/t
Typpiravinne	3,38 kg/t
Fosforiravinne	1,1 kg/t

Mädätysprosessin jälkeen käsittelyjäänös jälkikompostoidaan tunnelikompostointilaitoksessa. Sen tiedot perustuvat Myllymaa et al. (2008) raporttiin (Taulukko 8). Biokaasuprosessissa 30-80 % mädätettävien raaka-aineiden orgaanisesta aineesta muunnetaan metaaniksi ja hiilidioksidiksi, jolloin mädätteen metaanipäästöt jälkikompostoinnissa eivät ole enää niin suuret kuin alkuperäisen raaka-aineen. Metaanipäästöt laskettiin Myllymaa et al. (2008) raportissa esitettyyn kompostointiprosessiin perustuen, mutta ottaen huomioon biokaasuprosessissa tapahtuva orgaanisen aineen vähenemä. Myös NH₃ ja N₂O -päästöt laskettiin uudelleen taulukossa 6 esitettyjen ominaisuusarvojen perusteella.

Taulukko 8. Jälkikompostoinnin inventaaritiedot (Myllymaa et al. 2008).

Laitoksen tiedot	Määrä
Hake, tukiaine	0,38 t/t
Prosessisähkö	22 kWh/t
CH ₄	0,296 kg/t
NH ₃	0,212 kWh/t
N ₂ O	0,034 kg/t

Syntynyt biokaasu käytetään sähkön ja lämmön tuotantoon laitoksen omalla turbiinilla. Kattilan hyötysuhde on 85 %, josta lämmön osuus on 61 % ja sähkön osuus 39 %.

Biojätteen energiahyödyntäminen

Biojätteen oletetaan päätyvän energiahyödynnettäväksi sekajätteen seassa. Biojätteen energiahyödyntämisen ketjussa käytetään Sunström et al. (2014) raportissa laskettuja tietoja, jotka perustuvat Vantaan energian tietoihin sekajätteen poltolle. Laskennassa on huomioitu biojätteen sekajätettä alempi lämpöarvo 3 GJ/t (Virtavuori, 2009). Jätteenpolttolaitoksella biojätteestä tuotetun sähkön ja lämmön määrät perustuvat Vantaan jätevoimalan tietoihin (Vantaan energia, 2015) ja sen parametrit on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Vantaan jätevoimalan tietoja (Vantaan energia, 2015; Sunström et al. 2014).

Jätteenpolttolaitoksen ominaisuustiedot	Määrä
Hyötysuhde	85 %
Kaukolämmön tuotanto	425 (60 %) kWh/t
Sähkön tuotanto	283 (40 %) kWh/t
Jätteenpolttolaitoksen syötteet	Määrä
Kalkki	12,8 kg/t
Aktiivihiihi	0,3 kg/t
Ammoniakki	3,5 kg/t
Natriumhydroksidi 50-%	1,4 kg/t

7 Paistorasvan käsittelyvaihtoehtojen elinkaaritarkastelut

7.1

Paistorasvan hyödyntäminen uusiutuvan dieselin tuotannossa

Uusiutuvaa dieseliä tuottavan NEXBTL-prosessin tiedot perustuvat Nikanderin (2008) tekemään diplomityöhön, joka sisältää kasvihuonekaasupäästöt ja energiataseen prosessille, sekä Nesteen asiantuntijoiden tietoihin (Taulukko 10). Prosessien päästöinventarioiden tiedoissa on käytetty sekä Nikanderin (2008) diplomityötä että Ecoinvent-tietokantaa.

Taulukko 10. LCI-tiedot NEXBTL-prosessiin (Nikander, 2008).

Syötteet	Määrä	Tuotokset	Määrä
Esikäsittely			
paistorasva	1 214 kg	esikäsitelty öljy	1 191 kg
jäähdytysvesi	70 kg	kiinteä jäte	13 kg
sähkö	50 MJ	jätevesi	111 kg
prosessikemikaalit	3 kg		
prosessivesi	28 kg		
höyry	657 MJ		
Vetykäsittely			
esikäsitelty öljy	1 191 kg	NExBTL	1 000 kg
vety	42 kg	biobensiini	25 kg
jäähdytysvesi	4 kg	propaani	72 kg
sähkö	107 MJ	jätevesi	113 kg
prosessivesi	25 kg	CO ₂ ,bio	48 kg
höyry	29 MJ		
Vedyn tuotanto			
sähkö	4 400 MJ	vety	1 000 kg
polttokaasu	34 300 MJ	höyry, 5 bar	1 500 MJ
maakaasu	100 000 MJ	höyry, 16 bar	3 600 MJ
prosessivesi	8 800 kg	CO ₂	8 530 kg
		energiähäviö	13 600 MJ

Tuotettu uusiutuva diesel korvaa fossiilista dieseliä, joten vältettävissä päästöissä on otettu huomioon korvattavan fossiilisen dieselin valmistuksen epäsuorat päästöt sekä suorat päästöt, kun käytetään uusiutuvaa dieseliä fossiilisen dieselin tilalla liikenne-

polttoaineena. Vältettävät päästöt on laskettu oletuksella, että fossiilisen dieselin ja uusiutuvan dieselin energiasisältö on sama. Prosessissa syntyy myös pieniä määriä propaania, biobensiiniä ja biopohjaista hiilidioksidia, joita voidaan käydään esimerkiksi liikennepolttoaineena tai teollisuudessa. Näistä saatavia mahdollisia vältettäviä päästöjä ei ole sisällytetty laskentaan.

Elinkaariarviointimenetelmän yleisesti hyväksyttyjen vaikutusmallitulkintojen mukaisesti bioperäisten CO₂-päästöjen ei ajatella aiheuttavan ilmastonmuutosvaikutusta, koska hiilidioksidi sitoutuu biomassaansa sen kasvaessa. Tämän takia uusiutuvaa dieseliä polttoaineena käyttävien autojen CO₂-päästöjen osalta ei oteta huomioon ilmastonmuutosvaikutusta. Tutkimusten mukaan NEXBTL-dieselien pienhiukkaspäästöt ovat 33 % pienemmät verrattuna perinteiseen rikittömään dieseliin. Muiden päästöjen osalta typen oksideja (NO_x) on 9 %, hiilivetyjä (HC) 30 %, hiilimonoksidia (CO) 24 % vähemmän verrattuna perinteiseen rikittömään dieseliin. Myös polyaromaattisia hiilivetyjä (PAH) on vähemmän tähän verrattuna. (Neste, 2015.) Muita päästötietoja ei ole tarkasteluun sisällytetty kuitenkaan mukaan ja tämän takia fossiilista dieseliä käyttävien autojen vältettäviä päästöjä laskettaessa ainoastaan CO₂-päästöt on sisällytetty tarkasteluun.

7.2

Paistorasvan mädätys ja biokaasun ja mädätteen hyödyntäminen

Pelkkää paistorasvaa raaka-aineena käyttävä laitos ei ole realistinen, joten laitoksen energiankulutustietoina sekä jälkikompostoinnin tietoina käytetään samoja lähtötietoja kuin biojätteen mädätyslaitokselle. Biokaasun tuotantomäärän ja siitä saatavan energian sekä mädätteestä saatavien ravinnemäärien laskennassa käytettiin Biokaasulaskuri.fi:n tietoja rasvajätteelle. Paistorasvan ominaisuudet on esitetty taulukossa 11 ja biokaasulaitoksen energiankulutus ja -tuotantomäärät sekä mädätteestä saatavien ravinteiden määrät puolestaan taulukossa 12. Jälkikompostoinnin tiedot löytyvät taulukosta 8.

Taulukko 11. Biojätteen ominaisuudet (Biokaasulaskuri.fi).

Biojätteen ominaisuudet	Määrä
TS	40 %
CH ₄ -potentiaali	288 m ³ /t
N	0,4 %TS
P	0,0 %TS

Taulukko 12. Mädätyslaitoksen energiankulutus- ja tuotantotiedot sekä mädätteen sisältämien ravinteiden määrät (Myllymaa et al. 2008; Biokaasulaskuri.fi).

Laitoksen tiedot	Määrä
Sähkönkulutus	31,4 (esikäsittely 15, mädätyslaitos 16,4) kWh/t
Lämmönkulutus	66,4 kWh/t
Sähköntuotanto, CHP	950 kWh/t
Lämmöntuotanto, CHP	1 498 kWh/t
Typpiravinne	1 kg/t
Fosforiravinne	0 kg/t

7.3

Paistorasvan energiahyödyntäminen

Paistorasvan energiahyödyntämisen päästöihin ja polttoprosessin toimintaan liittyvät oletukset ovat samat kuin biojätteelle. Paistorasvan lämpöarvoksi oletetaan 37 MJ/kg (Tilastokeskus, polttoaineluokitus 2015), minkä perusteella oletetaan, että jätteenpolttolaitoksella paistorasvalla tuotetaan sähköä 3,49 MWh/t ja lämpöä 5,24 MWh/t.

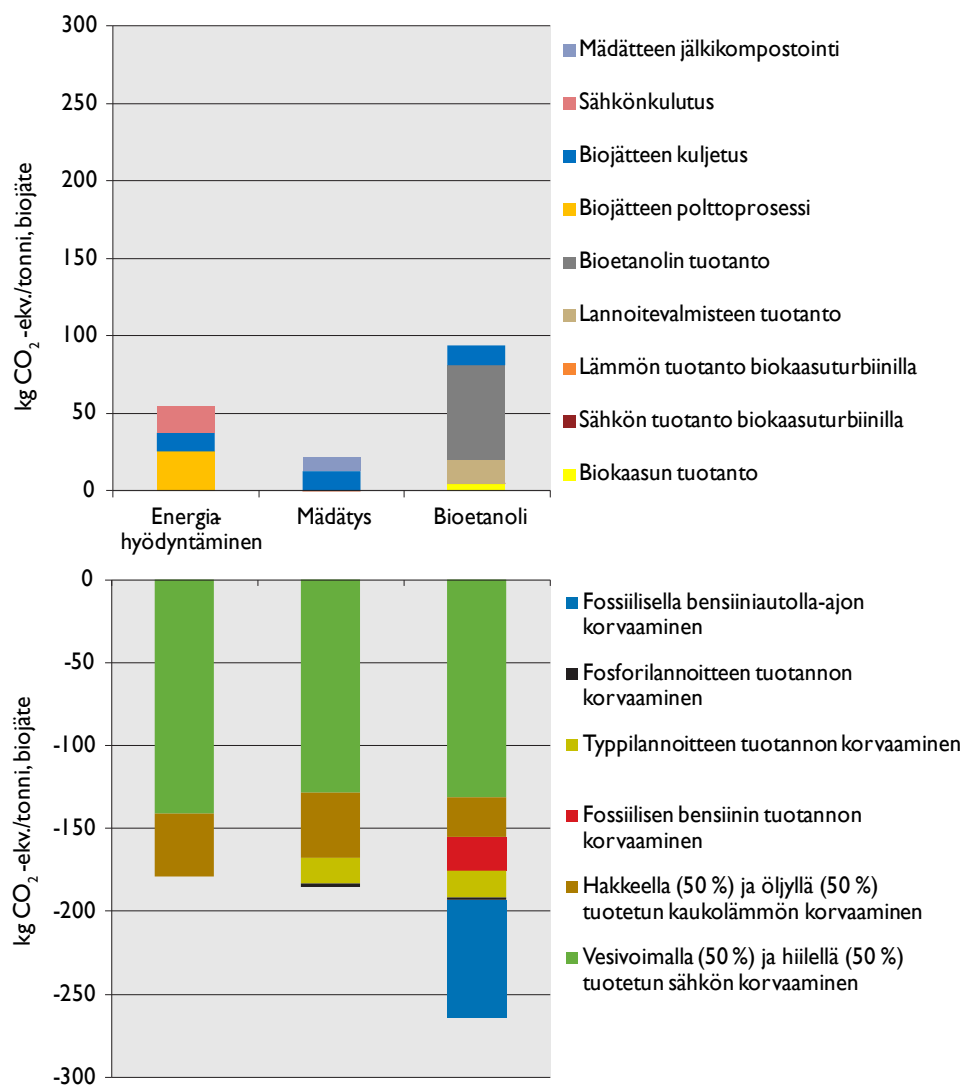
8 Biojätteen hyödyntämisvaihtoehtojen elinkaariarvioinnin tulokset

Kuvissa 7–9 on esitetty ilmastonmuutos-, happamoitumis- ja rehevöitymisvaikutukset biojätteen eri käsittelyvaihtoehdoille. Kuvissa olevat ylemmät palkit kuvaavat prosessista aiheutuvia suoria ympäristövaikutuksia ja alemmat palkit ympäristövaikutuksia, jotka voidaan välttää, jos korvataan oletettua nykytuotantoa. Vältettyjen päästöjen arvioinnissa käytettyjä oletuksia on kuvattu taulukossa 1.

8.1

Biojätteen hyödyntämisvaihtoehtojen ilmastonmuutosvaikutukset

Biojätteen eri käsittelyvaihtoehtoja vertailtaessa suurimmat suorat ilmastonmuutosvaikutukset aiheutuvat bioetanolin tuotannosta (Kuva 7). Tämä johtuu pääosin nimenomaan bioetanolin valmistusprosessin kuluttamasta energiasta, kemikaaleista ja entsyymeistä. Bioetanolin tuotannossa sivutuotteet ohjataan biokaasun tuotantoon, josta tuotetulla biokaasulla tuotetaan sähköä ja lämpöä, jotka myydään eteenpäin. Biokaasun tuotantoprosessissa apuaineen valmistus aiheuttaa suurimmat päästöt ja jonkin verran päästöjä syntyy myös prosessissa käytettävän sähkön tuotannosta. Lisäksi biokaasuprosessista syntyvä mädäte ohjataan lannoitevalmisteen tuotantoon, jossa energiankulutus aiheuttaa päästöjä.



Kuva 7. Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen ilmastomuutosvaikutukset elinkaarivaiheittain. Ylemmät palkit kuvaavat prosessista aiheutuvia ympäristövaikutuksia ja alemmat palkit vaikutuksia, jotka voidaan välttää, jos korvataan oletettua nykytuotantoa.

Mädätysprosessin vaikutuksissa näkyvät biojätteen kuljetus ja jälkikompostointi. Mädätysvaihtoehdossa oletetaan, että biokaasulaitos käyttää biokaasuturbiinissaan tuottamaansa sähköä ja lämpöä omissa prosesseissaan ja loput myydään laitoksen ulkopuolelle. Biokaasuturbiinin aiheuttamat päästöt ovat kuitenkin sen verran pieniä, etteivät ne näy kuvassa. Toisin kuin bioetanolin tuotantoprosessin yhteydessä olevassa biokaasulaitoksessa, mädätysvaihtoehdon mukaisessa biokaasureaktorissa ei oleteta käytettävän apuaineita, joiden valmistus aiheuttaisi päästöjä. Jälkikompostoinnin päästöihin vaikuttaa, millaisessa laitoksessa kompostointi tapahtuu ja kuinka hyvin prosessi toimii. Tarkastelussa käytettiin tunnelikompostoinnin tietoja.

Energiahöydyntämisen ilmastovaikutukset johtuvat pääosin polttoprosessissa käytettävästä kalkista ja ammoniakista. Lisäksi laitoksella käytetyn sähkön tuotanto aiheuttaa jonkin verran päästöjä. Biojätteen kuljetuksen päästöt vaihtelevat riippuen kuljetusmatkasta, mutta tässä tarkastelussa kaikissa vaihtoehdoissa on käytetty samoja kuljetusmatkoja.

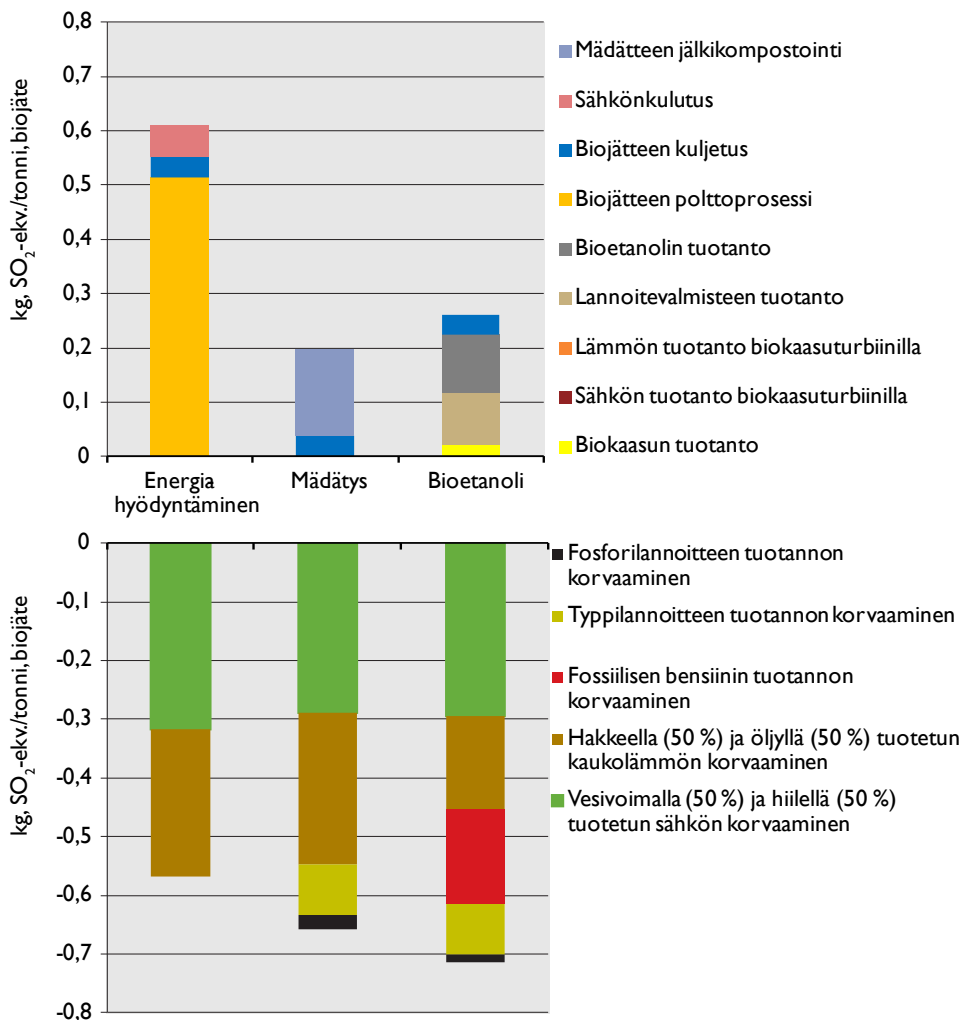
Suurimmat vältettävät ympäristövaikutukset saadaan energialähteiden korvaamisesta (sähkö ja lämpö) sekä bensiinin korvaamisesta etanolilla (huomioitu sekä bensiiniautolla ajosta että bensiinin valmistuksesta aiheutuvat vaikutukset). Lisäksi

mädätysvaihtoehdossa sekä bioetanoliprosessin yhteydessä valmistetuilla lannoitetuotteilla ja maanparannusaineella voidaan korvata kemiallisia lannoitteita, joilla voidaan välttää niiden valmistuksesta aiheutuneita päästöjä.

8.2

Biojätteen hyödyntämismvaihtoehtojen happamoittavat vaikutukset

Happamoittavien vaikutusten osalta (Kuva 8) energiahyödyntäminen nousee esille poltosta syntyvien SO₂- ja NO_x-päästöjen vuoksi. Bioetanolin tuotannon happamoittumisvaikutukset johtuvat pääosin pH:n säätökemikaalina käytettävän NaOH:n valmistuksesta. Lannoitevalmisteiden tuotannossa vaikutuksia aiheuttavat taas pääasiassa prosessissa käytettävän rikkihapon valmistus, sähkön ja lämmön tuotanto biokaasuturbiinilla sekä etanolilaitoksen yhteydessä oleva biokaasulaitos. Mädätysvaihtoehdossa jälkikompostoinnin suorat päästöt nousevat esille.



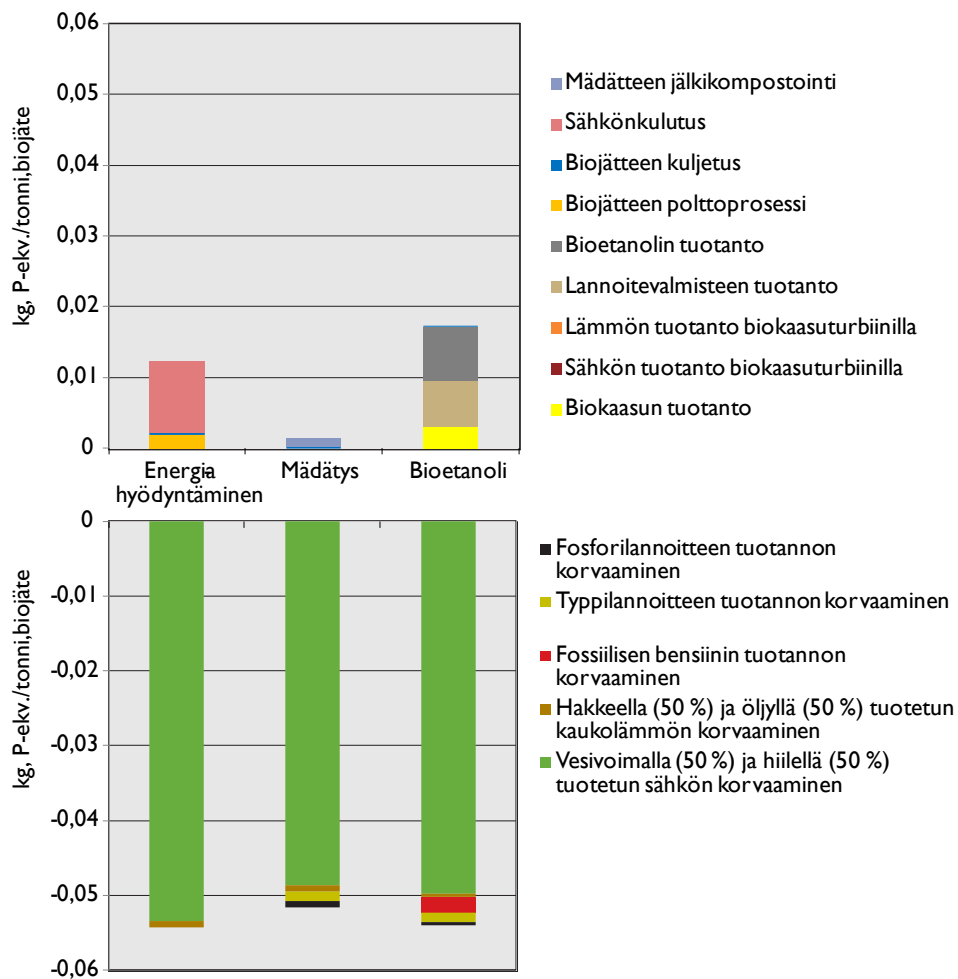
Kuva 8. Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen happamoittumisvaikutukset elinkaarivaiheittain. Ylemmät palkit kuvaavat prosessista aiheutuvia ympäristövaikutuksia ja alemmat palkit vaikutuksia, jotka voidaan välttää, jos korvataan oletettua nykytuotantoa.

Suurimmat vältettävät ympäristövaikutukset saadaan energialähteiden korvaamisesta (sähkö ja lämpö) sekä bensiinin korvaamisesta etanolilla (huomioitu sekä bensiiniautolla ajosta että bensiinin valmistuksesta aiheutuvat vaikutukset). Lisäksi mädätysvaihtoehdossa sekä bioetanoliprosessin yhteydessä valmistetuilla lannoite-tuotteilla ja maanparannusaineella voidaan korvata kemiallisia lannoitteita ja siten näiden valmistuksesta aiheutuneita päästöjä.

8.3

Biojätteen hyödyntämismavaihtoehtojen rehevöittävät vaikutukset

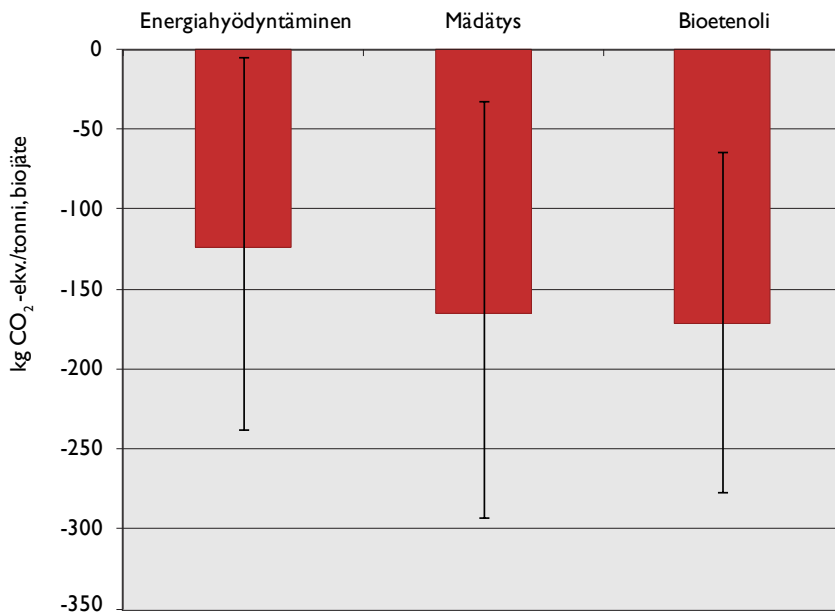
Energiahyödyntämisen rehevöitymisvaikutukset syntyvät pääosin sähkön kulutuksesta (Kuva 9). Mädätys- sekä bioetanoliprosessin yhteydessä tuotettavien lannoitevalmisteiden valmistuksessa käytettävä sähkö sekä bioreaktorin apuaineena käytettävä rautatrikloridi aiheuttavat eniten vaikutuksia. Bioetanolin tuotannossa vaikutukset johtuvat pH:n säätökemikaalina käytettävän NaOH:n valmistuksesta. Suurin osa vältettävistä happamoitumisvaikutuksista syntyy, kun tuotetulla energialla korvataan muita energianlähteitä sähköntuotannossa.



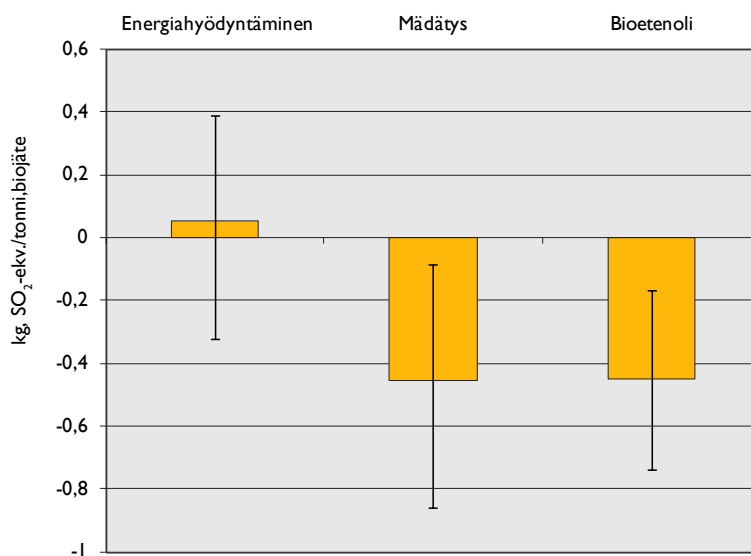
Kuva 9. Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen rehevöitymisvaikutukset elinkaarivaiheittain. Ylemmät palkit kuvaavat prosessista aiheutuvia ympäristövaikutuksia ja alemmat palkit vaikutuksia, jotka voidaan välttää, jos korvataan oletettua nykytuotantoa.

Biojätteen hyödyntämismvaihtoehtojen nettoympäristövaikutukset sekä epävarmuustarkastelun tulokset

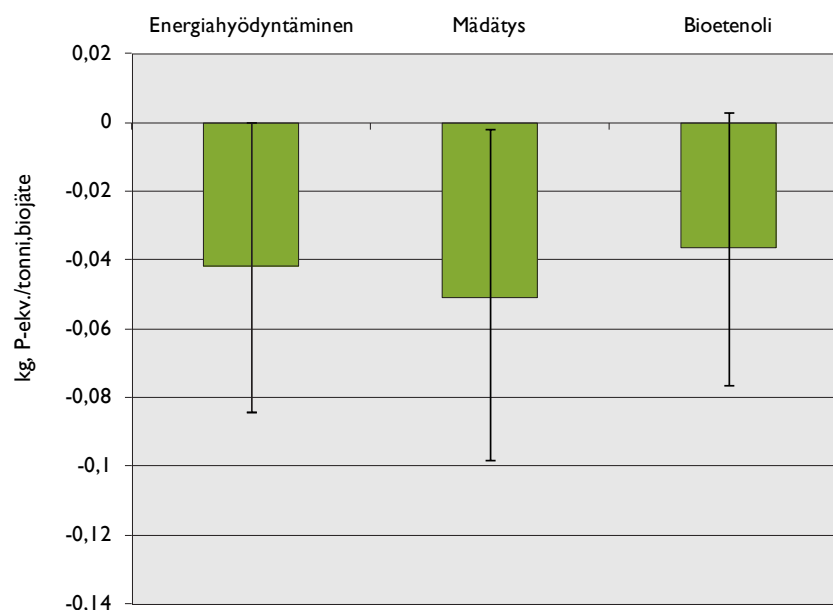
Biojätteiden hyödyntämismvaihtoehtojen elinkaarenaikaisiin ympäristövaikutuksiin voidaan todeta sisältyvän runsaasti epävarmuutta. Kuvissa 10-12 on esitetty netto-ympäristövaikutukset, kun kuvissa 7-9 kuvatuista aiheutetuista ympäristövaikutuksista on vähennetty vältettävät päästöt. Lisäksi kuvissa on esitetty vaihteluväli, miten tulokset voivat Monte Carlo-analyysin perusteella vaihdella, kun käytetään taulukossa 1 esitettyjä vaihtoehtoisia prosesseja.



Kuva 10. Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen nettoilmastonmuutosvaikutukset sekä epävarmuustarkastelun perusteella saatu tulosten vaihteluväli.



Kuva 11. Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen nettohappamoitusvaikutukset sekä epävarmuustarkastelun perusteella saatu tulosten vaihteluväli.



Kuva 12. Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen nettorehevöitymisvaikutukset sekä epävarmuustarkastelun perusteella saatu tulosten vaihteluväli.

Epävarmuustarkastelu osoittaa, että ympäristövaikutuksia voidaan välttää eniten, kun tuotetulla bioenergialla korvataan eniten ympäristövaikutuksia aiheuttavaa energiantuotantomuotoa ja tuotettu lämpö saadaan hyödynnettyä kokonaan ja korvattua muita lämmönlähteitä. Ympäristövaikutuksia saadaan vältettyä vähiten silloin, kun korvataan vähän ympäristövaikutuksia aiheuttavaa energiantuotantomuotoa tai tuotettua lämpöä ei saada lainkaan hyödynnettyä.

Kun epävarmuustarkastelun tulokset otetaan huomioon, tulokset ja eri käsittelyvaihtoehtojen paremmuusjärjestys voivat vaihdella käytetyistä oletuksista riippuen. Tulokset ovat epävarmoja kaikissa vaikutusluokissa.

8.5

Biojätteen hyödyntämisvaihtoehtojen energiatase

Bioetanolin tuotannon, biojätteen mädätyksen ja energiahödyntämisen kuluttama energia (sähkö ja prosessihöyry) sekä prosessista saatu energia (sähkö, kaukolämpö ja bioetanoli) on esitetty taulukoissa 13-15. Energiankulutustiedot on esitetty prosessiin sisään menevää biojätetonnin kohden. Tasetarkastelut osoittavat, että biojätteen energiahödyntämisellä saadaan paras energiantuotannon hyötysuhde. Bioetanolin tuotannon energiatase osoittaa, miten jalostaminen myös sitoo runsaasti energiaa.

Taulukko 13. Bioetanolin tuotannon energiatase sisään menevää biojätetonna kohden.

Prosessi	Sisään kWh/t	Ulos kWh/t
Bionolix-prosessi		
sähkö	125	
höyry	475	
Biokaasuprosessi		
sähkö	29	
Rejektiveden ja humusmassan käsittely		
sähkö	32	
höyry	73	
Biokaasun jatkokäyttö		
sähkö	31	264
kaukolämpö		270
Bioetanolin absolutointi		
sähkö	4	
kaukolämpö	9	
etanoli		288
Yhteensä	778	822

Taulukko 14. Mädätyksen energiatase sisään menevää biojätetonna kohden.

Prosessi	Sisään kWh/t	Ulos kWh/t
Biokaasuprosessi		
sähkö	31	
höyry	66	
Mädätteen jälkikompostointi		
sähkö	6	
Biokaasun jatkokäyttö		
sähkö		321
kaukolämpö		505
Yhteensä	103	826

Taulukko 15. Energiahyödyntämisen energiatase sisään menevää biojätetonna kohden.

Prosessi	Sisään kWh/t	Ulos kWh/t
Biojätteen energiahyödyntäminen		
sähkö	56	283
lämpö		425
Yhteensä	56	708

Ravinteiden kierto biojätteiden hyödyntämisketjuissa

Bioetanoliprosessista saatava korvattavien lannoitetuotteiden määrä on laskettu St1:n lannoitetuotteiden tuoteselosteissa ilmoitettuihin ravinnepitoisuuksiin perustuen (Taulukko 16). Mädätysprosessissa syntyvän mädätteen ravinnepitoisuudet perustuvat puolestaan Biokaasulaskuri.fi:n tietoihin. Taulukossa esitettävät typpi- ja fosforilannoitemäärät kuvaavat lannoitetuotteiden määriä, jotka enintään saadaan korvattua, jos kaikille lannoitetuotteille löytyy markkinat. Epävarmuustarkastelussa on arvioitu vaikutuksia lannoitetuotteiden hyödyntämistason vaihdellessa 0-100%.

Taulukko 16. Biojätteen etanoliprosessin yhteydessä olevasta mädätyslaitoksen käsittelyjäännöksestä tuotettujen lannoitevalmisteiden ravinnemäärät (ST1) sekä pelkästä mädätyslaitoksesta syntyvän mädätteen typpi- ja fosforiravinnepitoisuudet (Biokaasulaskuri.fi).

	Korvattava typpilannoite kg/t	Korvattava fosforilannoite kg/t
Bioetanolin tuotanto	3,38	0,58
Mädätysprosessi	3,38	1,1

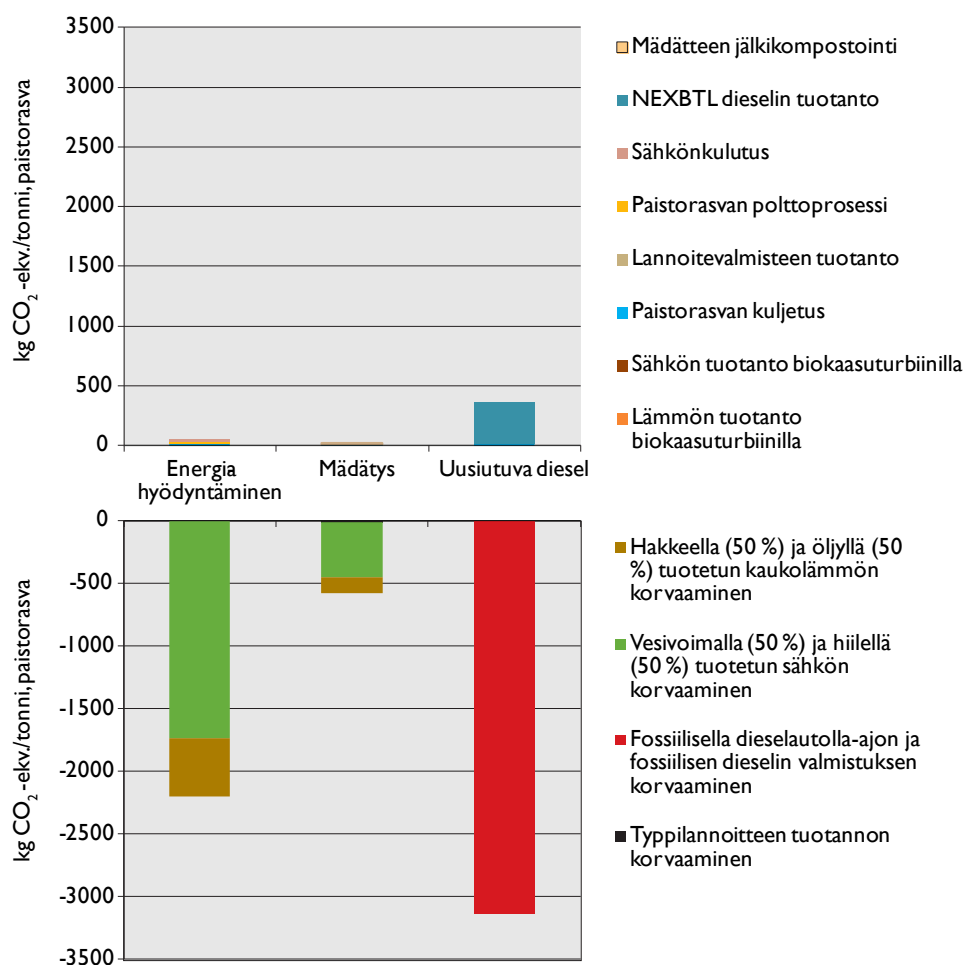
9 Paistorasvan hyödyntämisvaihtoehtojen elinkaariarvioinnin tulokset

Kuvissa 13–15 on esitetty tulokset paistorasvan eri käsittelyvaihtoehdoille. Kuvissa olevat ylemmät palkit kuvaavat prosessista aiheutuvia suoria ympäristövaikutuksia ja alemmat palkit ympäristövaikutuksia, jotka voidaan välttää, jos korvataan oletettua nykytuotantoa. Vältettyjen päästöjen oletuksina on käytetty taulukossa 1 kuvattuja prosesseja.

9.1

Paistorasvan hyödyntämisvaihtoehtojen ilmastomuutosvaikutukset

Paistorasvan eri käsittelyvaihtoehtoja vertailtaessa suurimmat ilmastomuutosvaikutukset aiheutuvat uusiutuvan dieselin tuotannosta (Kuva 13). Tämä johtuu pääosin dieselin valmistusprosessin yhteydessä tuotettavasta vedyn valmistusprosessista, josta vapautuu suoria hiilidioksidipäästöjä sekä vedyn valmistuksessa käytettävän maakaasun tuotannosta. Lisäksi päästöjä syntyy prosessin kuluttamasta energiasta sekä kemikaaleista.



Kuva 13. Paistorasvan käsittelyvaihtoehtojen ilmastomuutosvaikutukset elinkaarivaiheittain. Ylemmät palkit kuvaavat prosessista aiheutuvia ympäristövaikutuksia ja alemmat palkit vaikutuksia, jotka voidaan välttää, jos korvataan oletettua nykytuotantoa.

Paistorasvan mädätys- ja energiahyödyntämisen vaihtoehtoisissa käytetään samoja prosessitietoja kuin biojätteen vastaavia vaikutuksia arvioitaessa. Määtysessä ilmastomuutosvaikutuksia aiheuttavat paistorasvan kuljetuksen sekä jälkikompostoinnin aiheuttamat päästöt. Biokaasulaitos käyttää energianaan omalla laitoksella biokaasusta tuotettua sähköä ja lämpöä, jolloin biokaasuturbiinista syntyy hieman päästöjä.

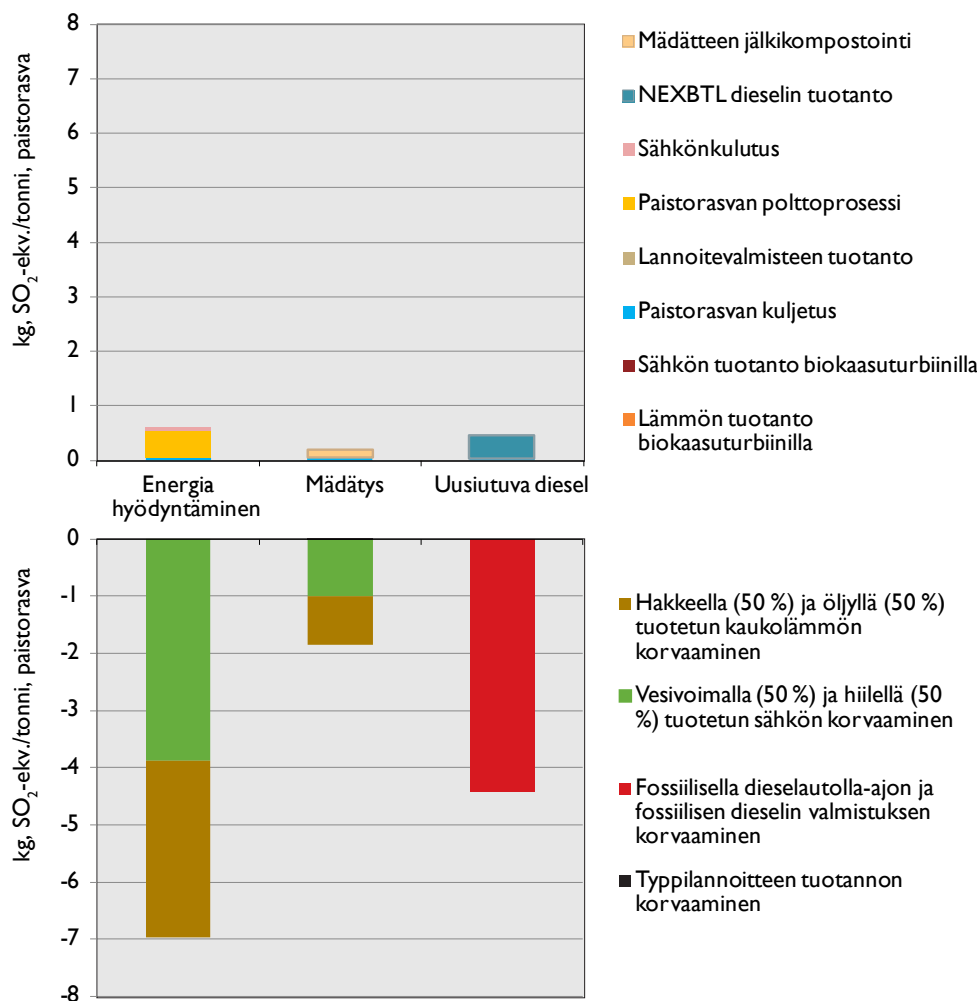
Polttoprosessin ilmastovaikutukset johtuvat polttolaitoksella käytetyn sähkön tuotannosta aiheutuvista päästöistä. Lisäksi vaikutuksia syntyy paistorasvan kuljetuksesta, mutta ne ovat samansuuruiset kuin muissa vertailuprosesseissa.

Vältettäviä ympäristövaikutuksia poltto- ja määtysprosesseissa saavutetaan, kun korvataan nykyistä sähkön ja lämmön energiantuotantomuotoa. Uusiutuvan dieselin tuotantoprosessissa vältettäviä päästöjä syntyy, kun korvataan fossiilista dieseliä. Lisäksi vältettäviä vaikutuksia syntyy paistorasvan määtysprosessissa, jossa tuotetaan jonkin verran lannoitete tuotteita (pääsääntöisesti typpilannoitetta, koska fosforipitoisuus paistorasvassa on hyvin pieni), jotka voivat korvata kemiallisia lannoitevalmisteita.

Paistorasvan hyödyntämismavaihtoehtojen happamoittavat vaikutukset

Paistorasvan hyödyntämismavaihtoehtojen happamoittavia vaikutuksia tarkasteltaessa energiahyödyntäminen nousee esille poltosta syntyvien SO_2 - ja NO_x -päästöjen vuoksi (Kuva 14). Uusiutuvan dieselin valmistuksen happamoittavista päästöistä noin 70 % aiheutuu vedyn valmistuksessa käytettävästä maakaasun tuotannosta. Määtysprosessissa esille nousevat jälkikompostoinnin päästöt.

Vältettävien happamoitumismavikutusten osalta suurimmat hyvitykset energiahyödyntämisessä ja määtysessä saavutetaan, kun korvataan nykyistä sähkön ja lämmön energiantuotantomuotoa. NEXBTL-prosessissa vältettäviä vaikutuksia syntyy, kun ajoneuvoissa uusiutuvalla dieselillä korvataan fossiilista dieseliä.

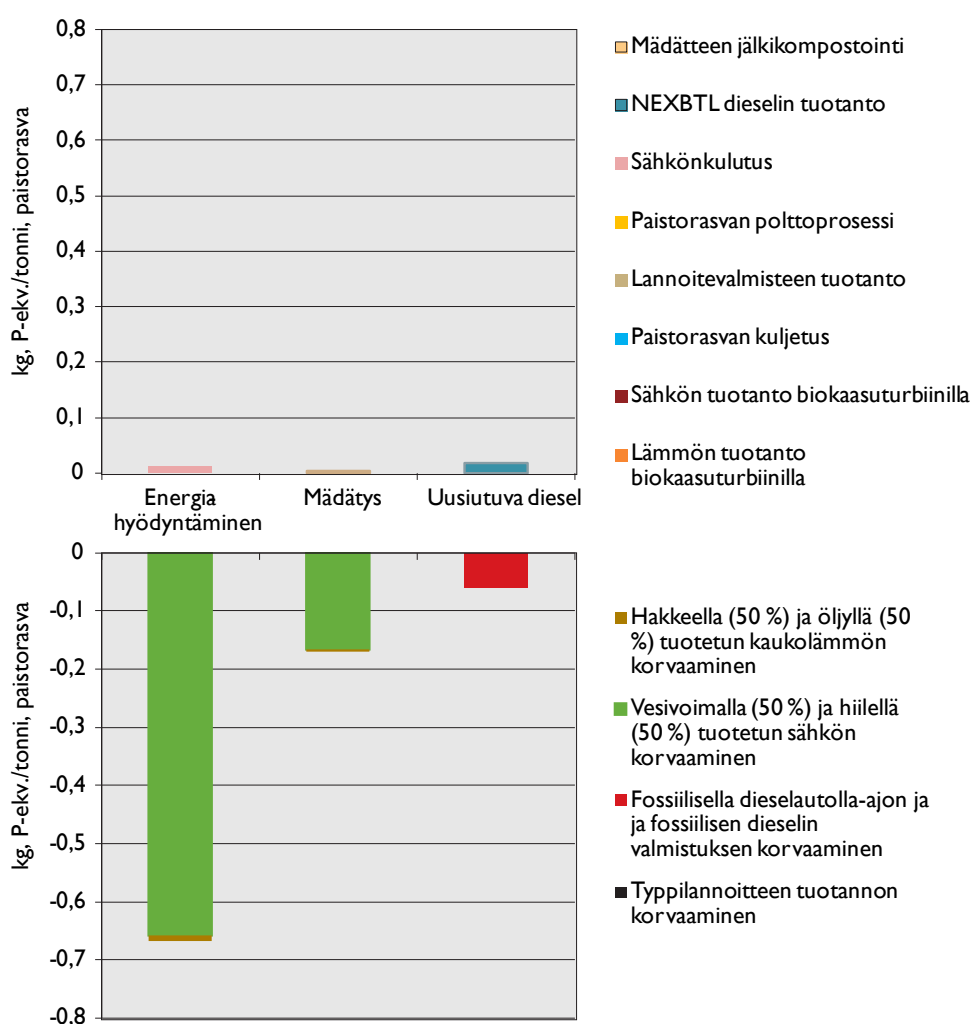


Kuva 14. Paistorasvan käsittelyvaihtoehtojen happamoitumismavikutukset elinkaarivaiheittain. Ylemmät palkit kuvaavat prosessista aiheutuvia ympäristövaikutuksia ja alemmat palkit vaikutuksia, jotka voidaan välttää, jos korvataan oletettua nykytuotantoa.

Paistorasvan hyödyntämismavaihtoehtojen rehevöittävät vaikutukset

Paistorasvan energiahyödyntämisen rehevöitymisvaikutukset syntyvät pääosin sähkön kulutuksesta (Kuva 15). Määtysprosessissa rehevöitymisvaikutuksia syntyy jälkikompostoinnista. Uusiutuvan dieselin valmistuksessa suurimmat rehevöitymisvaikutukset aiheuttaa sähkön käyttö.

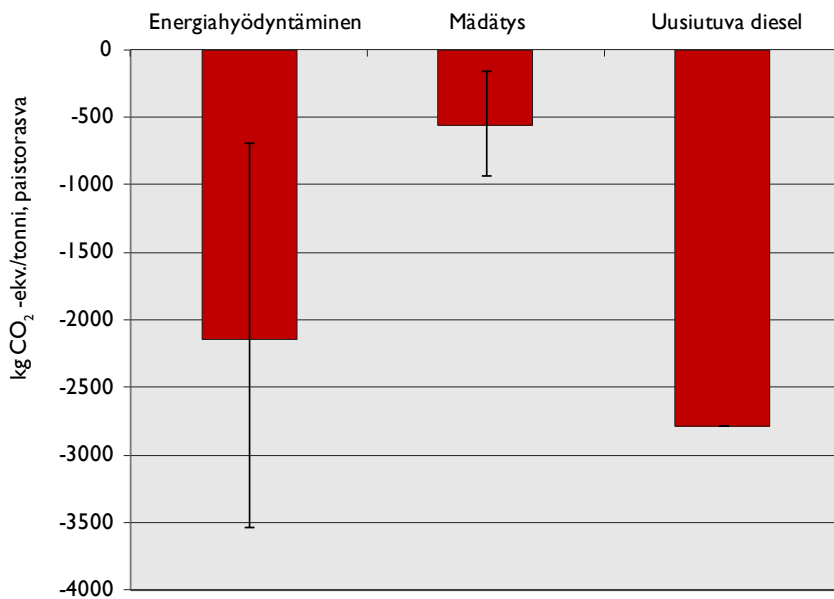
Vältettävistä happamoitusvaikutuksista suurin osa syntyy, kun energiahyödyntämisessä ja määtöksessä tuotetulla energialla korvataan nykyistä sähköntuotantomuotoa ja NEXBTL-prosessissa tuotetulla uusiutuvalla dieselillä korvataan ajoneuvoissa fossiilista dieseliä.



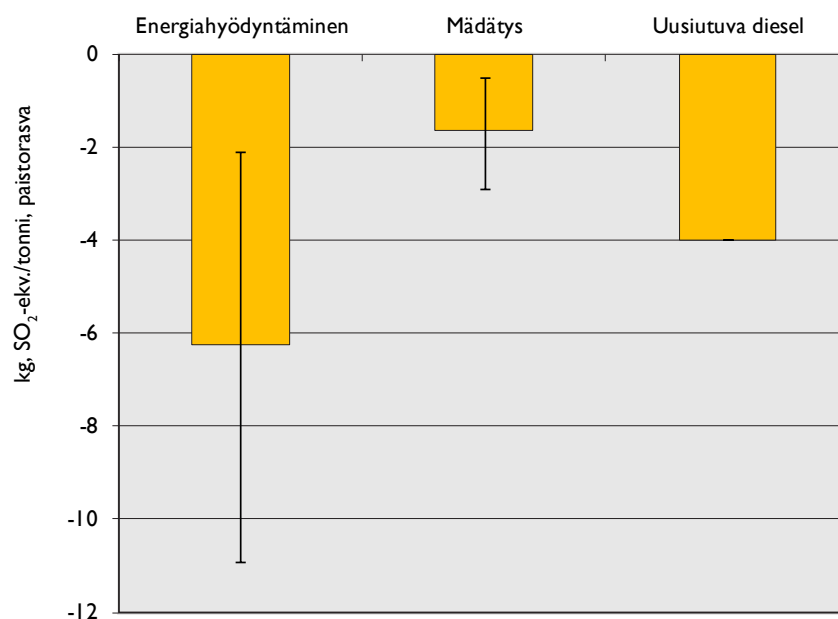
Kuva 15. Paistorasvan käsittelyvaihtoehtojen rehevöitymisvaikutukset elinkaarivaiheittain. Ylemmät palkit kuvaavat prosessista aiheutuvia ympäristövaikutuksia ja alemmat palkit vaikutuksia, jotka voidaan välttää, jos korvataan oletettua nykytuotantoa.

Paistorasvan hyödyntämisvaihtoehtojen nettoympäristövaikutukset sekä epävarmuustarkastelun tulokset

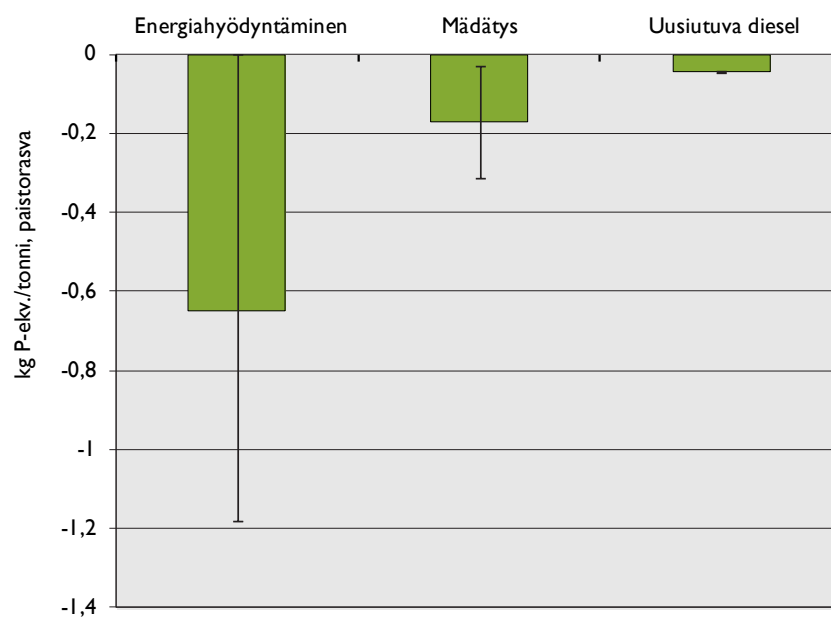
Paistorasvan hyödyntämisvaihtoehtojen nettoympäristövaikutukset vaihtelevat eri ympäristövaikutusluokissa, eikä mikään tarkastelluista hyödyntämistavoista ole paras kaikissa vaikutusluokissa. Kuvissa 16-18 on esitetty nettoympäristövaikutukset, jotka saadaan vähentämällä kuvien 13-15 mukaisista ympäristövaikutuksista vaikutukset, jotka voidaan välttää, jos korvataan oletettua nykytuotantoa. Kuvissa 16-18 on esitetty myös vaihteluväli, jonka sisällä tulokset voivat Monte Carlo-analyysin perusteella vaihdella, kun käytetään taulukossa 1 esitettyjä vaihtoehtoisia prosesseja. Tulokset osoittavat, että kaikilla tarkastelluilla hyödyntämistavoilla voidaan välttää päästöjä enemmän kuin niitä tuotetaan.



Kuva 16. Paistorasvan käsittelyvaihtoehtojen nettoilmastonmuutosvaikutukset sekä epävarmuustarkastelun perusteella saatu tulosten vaihteluväli.



Kuva 17. Paistorasvan käsittelyvaihtoehtojen nettohappamoitumisvaikutukset sekä epävarmuustarkastelun perusteella saatu tulosten vaihteluväli.



Kuva 18. Paistorasvan käsittelyvaihtoehtojen nettorehevytymisvaikutukset sekä epävarmuustarkastelun perusteella saatu tulosten vaihteluväli.

Epävarmuustarkastelu osoittaa, että ympäristövaikutuksia voidaan välttää eniten, kun tuotetulla bioenergialla korvataan eniten ympäristövaikutuksia aiheuttavaa energiantuotantomuotoa ja tuotettu lämpö saadaan hyödynnettyä kokonaan ja korvattua muita lämmönlähteitä. Ympäristövaikutuksia voidaan välttää vähiten silloin, kun korvataan vähän ympäristövaikutuksia aiheuttavaa energiantuotantomuotoa tai tuotettua lämpöä ei saada lainkaan hyödynnettyä. Tulokset ja eri käsittelyvaihtoehtojen paremmuusjärjestys voivat vaihdella käytetyistä oletuksista riippuen. Sekä paistorasvan energiahöydyntäminen että uusiutuvan dieselin valmistus aiheuttavat vähiten

mahdollisia vaikutuksia ilmastoon, mutta energianhyödyntämisen mallintamiseen liittyvät epävarmuudet ovat selvästi muita hyödyntämisvaihtoehtoja merkittävimmät. Tulokset ovat epävarmoja kaikissa vaikutusluokissa.

9.4

Paistorasvan hyödyntämisvaihtoehtojen energiatase

Paistorasvan hyödyntämisvaihtoehtojen - NEXBTL-dieselin tuotannon, paistorasvan mädätyksen ja energiahyödyntämisen - kuluttama energia (sähkö ja prosessihöyry) sekä prosessista saatu energia (sähkö, kaukolämpö ja NEXBTL) on esitetty taulukoissa 17-19. Energiankulutustiedot on esitetty prosessiin sisään menevää paistorasvatonna kohden. Kun verrataan sisään menevän ja ulos saatavan energian suhdetta, suoralla polttamisella energiatase on parhain, mutta myös NEXBTL-prosessin hyötysuhde on jalostustoiminnasta huolimatta hyvä, mädätysprosessin ollessa samaa tasoa.

Taulukko 17. NEXBTL-prosessin energiatase sisään menevää paistorasvatonna kohden.

	Sisään kWh/t	Ulos kWh/t
Esikäsitteily		
sähkö	12	
höyry	153	
Vetykäsitteily		
sähkö	25	
höyry	7	
NEXBTL		10 290
biobensiini		244
Vedyn tuotanto		
sähkö	36	
maakaasu	283	
höyry		1 190
Yhteensä	515	11 724

Taulukko 18. Mädätysprosessin energiatase sisään menevää paistorasvatonna kohden.

Prosessi	Sisään kWh/t	Ulos kWh/t
Biokaasuprosessi		
sähkö	31	
höyry	66	
Mädätteen jälkikompostointi		
sähkö	6	
Biokaasun jatkokäyttö		
sähkö		950
kaukolämpö		1 497
Yhteensä	103	2 447

Taulukko 19. Energiahyödyntämisen energiatase sisään menevää paistorasvatonna kohden.

Prosessi	Sisään kWh/t	Ulos kWh/t
Paistorasvan energiahyödyntäminen		
sähkö	56	3 494
lämpö		5 242
Yhteensä	56	8 736

9.5

Paistorasvan hyödyntämisvaihtoehtojen ravinteiden kierto

Mädätysprosessin vaikutusten arvioinnissa huomioidaan syntyvän mädätteen sisältämät ravinteet, joilla voidaan korvata kemiallisia lannoitteita. Oletetut ravinne-määrät perustuvat Biokaasulaskuri.fi:n tietoihin. Taulukossa 20 esitettävät typpi- ja fosforilannoitemäärät kuvaavat lannoitetuotteiden määriä, jotka enintään saadaan korvattua, jos kaikille lannoitetuotteille löytyy markkinat. Epävarmuustarkastelussa on arvioitu vaikutuksia lannoitetuotteiden hyödyntämisasteen vaihdellessa 0-100%.

Taulukko 20. Paistorasvan mädätysprosessista syntyvän mädätteen typpi- ja fosforiravinnemäärät (Biokaasulaskuri.fi).

	Korvattava typpilannoite kg/t	Korvattava fosforilannoite kg/t,paistorasva
Mädätysprosessi	I	0

10 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimuksessa tarkasteltiin kahden jättemateriaalin, biojätteen ja paistorasvan, hyödyntämisvaihtojen ympäristövaikutuksia. Biojätteen hyödyntämisvaihtoehtoina vertailtiin mädätystä, energiahyödyntämistä sekä bioetanolin tuotantoa. Paistorasvan hyödyntämisvaihtoehtoista tarkasteltiin mädätystä, energiahyödyntämistä ja uusiutuvan dieselin tuotantoa.

Ympäristövaikutusluokista tarkasteltiin ilmastonmuutos-, happamoitumis- ja rehevöitymisvaikutuksia. Hyödyntämisprosesseista laskettiin sekä suorat (mm. energiankulutuksesta ja kemikaalien käytöstä aiheutuvat) että vältettävät vaikutukset (mm. kun tuotetulla bioenergialla korvataan nykyistä energiantuotantomuotoa). Tuloksien perusteella eri käsittelyvaihtoehtojen nettoympäristövaikutuksiin vaikuttaa erityisesti se, mitä oletuksia tehdään korvattavien prosessien osalta.

Kaikilla käsittelyvaihtoehtoilla voidaan välttää ympäristövaikutuksia enemmän kuin niitä käsittelyllä aiheutetaan, ainoastaan energiahyödyntämisen happamoittavat vaikutukset osoittivat muuta. Nettoympäristövaikutusten ja epävarmuustarkastelun perusteella voidaan todeta, että ympäristönäkökulmasta selkeästi parasta käsittelyvaihtoehtoa ei ole. Tulosten tarkastelussa on otettava huomioon, että laskenta on tehty käyttäen tiettyjen laitosten prosessitietoja ja laitospesittäiset erot (esim. mitä jäteraaka-ainetta ja kemikaaleja käytetään ja miten energia tuotetaan) voivat vaikuttaa tuloksiin merkittävästi.

Mädätyslaitoksen prosessitiedot on laskettu tarkasteltua jätettä kohden. Todellisuudessa mädätyslaitokset ovat yleensä yhteismädättäjäyksiöitä, jotka käsittelevät myös muita jätteitä. Energianhyödyntämisvaihtoehtossa on tarkasteltu ainoastaan biojätteen/paistorasvan yksittäispolttoa, vaikka tarkoituksena on ollut mallintaa tilannetta, jossa biojäte päättyy energiahyödyntämiseen sekajätteen mukana. Energiahyödyntämisen prosessin syötteet ja tuotokset on kuitenkin laskennallisista syistä allokoitu tarkastelussa niin kuin ainoana syötteenä olisi pelkkä biojäte.

Mädätysvaihtoehdon suorat ympäristövaikutukset ovat pienimmät kaikissa ympäristövaikutusluokissa. Ilmastonmuutos- ja rehevöitymisvaikutusten osalta seuraavaksi vähiten suoria ympäristövaikutuksia tuottaa energiahyödyntäminen, joka kuitenkin tuottaa suurimmat happamoitumisvaikutukset rikkidioksidipäästöjen vuoksi.

Vältettävien päästöjen tarkastelu on olennaista vaihtoehtojen kokonaisympäristövaikutusten ymmärtämiseksi. Energiantuotantomuodon korvaamisesta saatavat vältettävät päästöt vaihtelevat huomattavasti sen mukaan, mitä korvattavan energiantuotantomuodon oletetaan olevan. Vältettävien päästöjen näkökulmasta olennaista on myös, saadaanko kemiallisia lannoitustuotteita korvattua mädätejäänäköksestä tuotetuilla lannoitevalmisteilla, eli löytyykö lannoitevalmisteille markkinoita.

Biojätteen ja paistorasvan hyödyntämisvaihtojen nettoympäristövaikutukset osoittavat, että käsittelyvaihtoehtojen paremmuusjärjestys voi vaihdella sen mukaan, mitä päästöjä ja prosesseja voidaan välttää. Tiivistetysti voidaan todeta, että suurimmat vältettävät päästöt saavutetaan silloin, kun korvataan eniten ympäristökuormitusta

aiheuttavaa tuotantomuotoa ja kun kaikki käsittelyvaihtoehdoista saatavat tuotteet, olivat ne sitten biopolttoainetta, sähköä, lämpöä tai lannoitteita, saadaan kokonaan hyödynnettyä.

Energiataselaskenta osoitti, että kaikilla käsittelyvaihtoehdoilla voidaan päästä positiiviseen taseeseen. Bioetanolin tuotanto epähomogeenisesta yhdyskuntien biojätteestä vaatii paljon prosessointia, kun taas biojätettä sekajätteen joukossa energiahyödynnettäessä tällaista prosessointia ei vaadita. Paistorasvan hyödyntämisprosessien energiataseissa parhaimman taseen saavutti suora energiahyödyntäminen, mutta myös NEXBTL-prosessin hyötysuhde on jalostustoiminnasta huolimatta hyvä, mädätysprosessin ollessa samaa tasoa.

Käytännössä jätteiden käsittelytavan valintaan ja ohjauskeinojen säätämiseen liittyvien päätösten tekeminen vaatii hyvin monien tekijöiden huomioimista. Tässä selvityksessä tarkasteltujen nettoympäristövaikutusten - ilmastomuutos, happamoituminen ja rehevöityminen - ja energiataseen ohella on toteuttamiskelpoisuuden arvioinnissa otettava huomioon myös mm. taloudelliset tekijät, käsittelyn lopputuotteena syntyvien materiaalien tai polttoaineiden laatu sekä kysynnän varmuus markkinoilla. Päätökseen vaikuttavina tekijöinä voidaan painottaa myös sitä, että lopputuotteena syntyy RES-direktiivin mukaista, kestävyyskriteerit täyttävää, bioperäistä polttoainetta, jolla voidaan suoraan korvata fossiilisten polttoaineiden käyttöä nykyisessä ajoneuvokannassa. Lisäksi biopolttoaineiden käyttö fossiilisten polttoaineiden sijaan edistää Suomen energia- ja ilmastopolitiikan tavoitteiden saavuttamista.

LÄHTEET

- Biokaasulaskuri.fi. Riihimäki, Markku; Mahal, Katja; Suoniemi, Jani; Nurmio, Juha; Marttinen, Sanna; Pyykkönen, Ville ja Winqvist, Erika. Biokaasulaskurin käyttöohje. Käytännön ohjeita biokaasulaitosinvestointia harkitsevalle. Saatavilla: http://portal.mtt.fi/portal/pls/portal/gas_mtt.gas_mtt_laskuri
- Biotalous, 2014. Kestävää kasvua biotaloudesta - Suomen biotalousstrategia. https://www.tem.fi/files/39784/Suomen_biotalousstrategia.pdf
- Cofalec. Hiivan hiilijalanjälki: <http://www.cofalec.com/sustainability/yeast-carbon-footprint/>
- Fred, Tommi. 2008. Helsingin kaupungin jätevesien johtamisen ja käsittelyn velvoitetarkkailun tulokset vuodelta 2007. Helsingin Vesi.
- Ecoinvent version 3.1. LCA database. <http://www.ecoinvent.org/>
- Judl, J., Koskela, S., Korpela, T., Karvosenoja, N., Häyrynen, A., Rantsi, J., 2014. Net environmental impacts of low-share wood pellet co-combustion in an existing coal-fired CHP (combined heat and power) production in Helsinki, Finland. Energy 77, 844-851, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.068>.
- Myllymaa et al. 2008. Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28/2008.
- Myllymaa & Dahlbo. 2012. Elinkaariarviointien käyttö Suomen jätehuollon ympäristövaikutusten tarkastelussa. Ympäristöministeriön raportteja 24/2012. <http://hdl.handle.net/10138/41347>
- Neste. 2015. Merkittävästi pienemmät päästöt [viitattu 11.6.2015]. <https://www.neste.com/fi/fi/yritysasiakkaille/tuotteet/uusiutuivat-tuotteet/nexbt-diesel/pienemm%C3%A4t-p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6t>
- Nielsen, P.H., Oxenbøll, K.M., Wenzel, H. Cradle-to-Gate Environmental Assessment of Enzyme Products Produced Industrially in Denmark by Novozymes A/S. International Journal of Life Cycle Assessment. 2007,12 (6), 432-438.
- Nikander, Sami. 2008. Greenhouse gas and energy intensity assessment of product chain: case transport biofuel. Helsinki University of Technology. Faculty of Engineering and Architecture. Department of Civil and Environmental Engineering.
- Sunström, Helena; Kaila, Juha; Moliis, Katja; Dahlbo, Helena ja Myllymaa Tuuli. HSY jätehuolto. Elinkaarihallinnon kehittäminen HSY:n jätehuollolle. Vaihe I: biojätteen käsittely. 17.3.2014. FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy.
- TEM, 2014a. Valtioneuvoston periaatepäätös kasvun uusien kärkien cleantechin ja biotalouden vauhdittamisesta. Toukokuu 2014. https://www.tem.fi/files/39772/VNP_kasvun_karjet_clean-tech_ja_biotalous_08052014.pdf
- TEM, 2014b. Energia- ja ilmastotiekartta 2050. Parlamentaarisen energia- ja ilmastokomitean mietintö 16. päivänä lokakuuta 2014. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto 31/2014.
- Tilastokeskus, Polttoaineluokitus 2015. http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html
- TransEco 2009-2013. Korkeaseosetanolin optimointi talviolosuhteisiin. http://www.transec.fi/files/716/TransEco-kortti_Korkeaseosetanolin_optimointi_talviolosuhteisiin.pdf
- Vantaan energia, 2015. Jätevoimalan toiminta lukuina. http://www.vantaanenergia.fi/fi/TietoaKonsernista/jatevoimalahanke/Sivut/jatevoimalan_toiminta_lukuina.aspx
- Virtavuori, Veera. 2009. Biojätteen käsittelyvaihtoehdot pääkaupunkiseudulla – kasviuonekaasupäästöjen vertailu. YTV:n julkaisuja 8/2009.
- Viikinnäen jätevedenpuhdistamon ympäristölupahakemus. Nro 56/2004/1,Dnro LSY-2003-Y-380
- VNK, 2015. Ratkaisujen Suomi. Pääministeri Juha Sipilän hallituksen strateginen ohjelma 29.5.2015. http://valtioneuvosto.fi/documents/10184/1427398/Ratkaisujen+Suomi_FI_YHDISTETTY_netti.pdf/801f523e-5dfb-45a4-8b4b-5b5491d6cc82

KUVAILULEHTI

Julkaisija	Ympäristöministeriö Ympäristönsuojeluosasto	Julkaisu-aika	Tammikuu 2016
Tekijä(t)	Kaisa Manninen, Jáchym Judl, Tuuli Myllymaa		
Julkaisun nimi	Mädätyksen, energiahyödyntämisen ja biopolttoaineen tuotannon elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset – Biojätteen ja paistorasvan käsittelyvaihtoehdot		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Ympäristöministeriön raportteja 3 2016		
Tiivistelmä	<p>Tutkimuksessa tarkasteltiin kahdelle jättemateriaalille, biojätteelle ja paistorasvalle, valittujen hyödyntämisvaihtojen ympäristövaikutuksia. Biojätteen hyödyntämisvaihtoehtoina vertailtiin mädätystä, energiahyödyntämistä ja bioetanolin tuotantoa. Paistorasvalle tarkasteltiin mädätystä, energiahyödyntämistä ja uusiutuvan dieselin tuotantoa.</p> <p>Ympäristövaikutusten osalta tarkastelussa olivat mukana ilmastonmuutos-, happamoitumis- ja rehevöitymisvaikutukset. Prosesseista laskettiin sekä suorat vaikutukset (mm. energiankulutuksesta ja kemikaalien käytöstä aiheutuvat vaikutukset) sekä vältettävät vaikutukset (mm. kun tuotetulla bioenergialla korvataan nykyistä energiantuotantomuotoa). Tuloksien perusteella eri käsittelyvaihtoehtojen nettoympäristövaikutukset riippuvat erityisesti siitä, mitä oletuksia tehdään korvattavien prosessien osalta.</p> <p>Nettoympäristövaikutuksia tarkasteltaessa voidaan todeta, että kaikilla käsittelyvaihtoehdoilla voidaan välttää ympäristövaikutuksia enemmän kuin niitä käsittelyllä aiheutetaan, pois lukien polton happamoitavat vaikutukset. Suorien ympäristövaikutusten osalta mädätysvaihtoehto on kaikissa ympäristövaikutusluokissa tehdyillä laskentaoletuksilla paras vaihtoehto sekä biojätteen että paistorasvan käsittelylle. Ilmastonmuutos- ja rehevöitymisvaikutusten osalta seuraavana vaihtoehtona on poltto ja viimeisenä biopolttoaineen tuotanto. Poltto tuottaa suurimmat happamoitumisvaikutukset rikkidioksidipäästöjen vuoksi.</p> <p>Energiantuotantomuodon korvaamisesta saatavat päästöhyvytykset vaihtelevat huomattavasti sen mukaan, mitä korvattavan energian oletetaan olevan. Lannoitteiden korvaamisessa ensisijaista on, saadaanko kemiallisia lannoitustuotteita todella korvattua mädätejäännöksestä tuotetuilla lannoitevalmisteilla, eli löytyykö niille markkinoita. Vältettävien päästöjen tarkastelu on kuitenkin olennaista vaihtoehtojen kokonaisympäristövaikutusten ymmärtämiseksi. On myös otettava huomioon, että vältettäville vaikutuksille (esim. hiilidioksidi-, ja rikkipäästöt, uusiutumattomien polttoaineiden käyttö) on lainsäädännössä asetettu tiukkoja vaatimuksia ja tavoitteita.</p> <p>Energiataseelaskenta osoitti, että kaikilla käsittelyvaihtoehdoilla voidaan päästä positiiviseen taseeseen. Energiataseeseen vaikuttaa luonnollisesti, kuinka paljon prosessi vaatii energiaa, jotta haluttu lopputuote saadaan ulos. Bioetanolin tuotanto biojätteestä vaatii paljon prosessointia, kun taas polttoprosessissa energiaa kuluu lähinnä laitoksen sähkönkulutuksena. Paistorasvan käsittelyprosessien energiataseissa parhaimman taseen saavutti paistorasvan energiahyödyntäminen.</p>		
Asiasanat	biojätteet, rasvat, elinkaarianalyysi, mädätys, energiantuotanto, biopolttoaineet, jätteet, ympäristövaikutukset		
Rahoittaja/toimeksiantaja	Ympäristöministeriö		
	ISBN 978-952-11-4477-6 (PDF)		ISSN 1796-170X (verkkokj.)
	Sivuja 46	Kieli suomi	Luottamuksellisuus julkinen
Julkaisun myynti/jakaja	Julkaisu on saatavana vain internetistä: www.ym.fi/julkaisut		
Julkaisun kustantaja	Ympäristöministeriö		
Painopaikka ja -aika	Helsinki 2016		

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Miljöministeriet Miljövårdsavdelningen	Datum Januari 2016
Författare	Kaisa Manninen, Jáchym Judl, Tuuli Myllymaa	
Publikationens titel	Mädätyksen, energiahyödyntämisen ja biopolttoaineen tuotannon elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset – Biojätteen ja paistorasvan käsittelyvaihtoehdot (Miljöpåverkan av rötning, energiutvinning och produktion av biobränsle under hela livscykeln – Olika hanteringslösningar för bioavfall och stekfett)	
Publikationsserie och nummer	Miljöministeriets rapporter 3 2016	
Sammandrag	<p>I undersökningen studeras metoder för tillvaratagande av två avfallstyper, bioavfall och stekfett, ur miljösynvinkel. De metoder som jämförs för tillvaratagande av bioavfall är rötning, energiutvinning och produktion av bioetanol. För stekfett jämförs rötning, energiutvinning och produktion av förnybar diesel.</p> <p>De miljökonsekvenser som tas i beaktande är klimatförändring, försurning och övergödning. I de olika processerna räknas såväl de direkta verkningarna (t.ex. verkningarna av energiförbrukning och av användning av kemikalier) som de verkningar som undviks (t.ex. när befintlig energiproduktion ersätts av bioenergi). Resultaten tyder på att nettopåverkan av de olika hanteringsmetoderna i synnerhet beror på vilka utgångsvärden som fastställs för de processer som ersätts.</p> <p>En granskning av nettopåverkan ger vid handen att alla hanteringsmetoder undviker negativa miljökonsekvenser i större grad än vad de själva förorsakar, med undantag av försurning förorsakad av förbränning. I fråga om direkta miljökonsekvenser är rötning det bästa alternativet för både bioavfall och stekfett i alla miljökonsekvensklasser, enligt de givna utgångsvärdena. I fråga om miljökonsekvenser i form av klimatförändring och övergödning är förbränning den näst bästa metoden, och sist kommer produktion av biobränsle. De höga utsläppen av svaveldioxid gör att förbränning har den största försurande inverkan.</p> <p>Den utsläppskredit som fås genom att en energiproduktionsform ersätts av en annan varierar i hög grad beroende på vilken energikälla som ersätts. När det gäller gödsel är den väsentliga frågan om kemiska gödselprodukter verkligen kan ersättas av gödsel som tillverkats av rötresten, närmare bestämt om det finns en marknad för dem. För att kunna begripa den totala miljöpåverkan av de olika alternativen måste man dock granska i vilken mån utsläpp undviks. Man måste också komma ihåg att de verkningar som man avser undvika (bl.a. utsläpp av koldioxid och svavel och användning av icke-förnybara bränslen) omfattas av stränga krav och mål i lagstiftningen.</p> <p>En energikalkyl visar att alla hanteringsmetoder kan ge en positiv energibalans. Energibalansen påverkas givetvis av hur mycket energi som krävs för att producera den önskade slutprodukten. Bioavfall måste exempelvis processas i hög grad för att producera bioetanol, medan förbränning i stort sett endast kräver den energi som går åt i form av elförbrukning på förbränningsanläggningen. Av de olika hanteringsprocesserna för stekfett gav energiutvinning den bästa energibalansen.</p>	
Nyckelord	bioavfall, fett, livscykelanlys, rötning, energiproduktion, biobränslen, avfall, miljökonsekvenser	
Finansiär/ uppdagsgivare	Miljöministeriet	
	ISBN 978-952-11-4477-6 (PDF)	ISSN 1796-170X ((online))
	Sidantal 46	Språk Finska
Beställningar/ distribution	Publikationen finns tillgänglig endast på internet: www.ym.fi/julkaisut	
Förläggare	Miljöministeriet	
Tryckeri/tryckningsort och -år	Helsingfors 2016	

DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Ministry of the Environment Environmental Protection Department	<i>Date</i> January 2016
<i>Author(s)</i>	Kaisa Manninen, Jáchym Judl, Tuuli Myllymaa	
<i>Title of publication</i>	Mädätyksen, energiahyödyntämisen ja biopolttoaineen tuotannon elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset – Biojätteen ja paistorasvan käsittelyvaihtoehdot (The life cycle environmental impact of anaerobic digestion, energy utilisation and the production of biofuel – The processing alternatives of biodegradable waste and cooking fat)	
<i>Publication series and number</i>	Reports of the Ministry of the Environment 3 2016	
<i>Abstract</i>	<p>The study analysed the environmental impact of the utilisation alternatives for two waste materials, biodegradable waste and cooking fat. Anaerobic digestion, energy utilisation and the production of bioethanol were analysed as the alternatives for the utilisation of biodegradable waste. Anaerobic digestion, energy utilisation and the production of renewable diesel were analysed as the alternatives for the utilisation of cooking fat.</p> <p>Climate change, acidification and eutrophication were included in the analysis relating to the environmental impact. Both the direct impact (the effects of energy consumption and the use of chemicals, among other things) and the impact, which could be avoided (replacing current methods of energy production with produced bioenergy), were calculated for the processes. According to the results, the gross environmental impact of the different processing alternatives especially depends on the assumptions that are made for the processes to be replaced.</p> <p>When analysing the gross environmental impact, it can be concluded that the use of the three processing alternatives could outweigh the environmental impact of the processing, excluding the effects of acidification. In terms of the direct environmental impact, anaerobic digestion is the best alternative for processing both biodegradable waste and cooking fat, based on assumed calculations carried out in all categories of environmental impact. In terms of climate change and eutrophication, the second alternative is burning and the last alternative is the production of biofuel. Burning generates the most significant eutrophication effects due to the sulphur dioxide emissions.</p> <p>The carbon credits received for the replacement of the method of energy production significantly vary depending on what the energy to be replaced is presumed to be. Whether chemical fertilising products can really be replaced with fertiliser products produced from digestate, i.e. whether there is a market for them, is a prime concern when it comes to replacing fertilisers. However, analysing the emissions which could be avoided is essential in terms of understanding the complete environmental impact of the alternatives. It must also be taken into account that strict requirements and goals have been set in legislation for the effects to be avoided (e.g. carbon dioxide and sulphur emissions, the use of non-renewable fuel).</p> <p>The calculated energy balance indicated that a positive balance can be reached with all three processing alternatives. Naturally, the energy balance is affected by how much energy the process requires in order to extract the desired end-product. The production of bioethanol out of biodegradable waste requires a great deal of processing, while the burning process uses energy mostly through the plant's electricity consumption. Among the energy balances of the processing of cooking fat, the energy utilisation of cooking fat reached the best balance.</p>	
<i>Keywords</i>	biowaste, fats, life cycle analysis, anaerobic digestion, energy production, biofuel, waste, environmental impact	
<i>Financier/ commissioner</i>	Ministry of the Environment	
	ISBN 978-952-11-4477-6 (PDF)	ISSN 1796-170X ((online))
	<i>No. of pages</i> 46	<i>Language</i> Finnish
		<i>Restrictions</i> For public use
<i>For sale at/ distributor</i>	The publication is available on the internet: www.ym.fi/julkaisut	
<i>Financier of publication</i>	Ministry of the Environment	
<i>Printing place and year</i>	Helsinki 2016	

Tutkimuksessa tarkasteltiin kahdelle jättemateriaalille, biojätteelle ja paistorasvalle, valittujen hyödyntämisvaihtojen ympäristövaikutuksia. Biojätteen hyödyntämisvaihtoehtoina vertailtiin mädätystä, energiahyödyntämistä ja bioetanolin tuotantoa. Paistorasvalle tarkasteltiin mädätystä, energiahyödyntämistä ja biodieselin tuotantoa.

Ympäristövaikutusten osalta tarkastelussa olivat mukana ilmastonmuutos-, happamoitumis- ja rehevöitymisvaikutukset. Prosesseista laskettiin sekä suorat vaikutukset (mm. energiankulutuksesta ja kemikaalien käytöstä aiheutuvat vaikutukset) sekä vältettävät vaikutukset (mm. kun tuotetulla bioenergialla korvataan nykyistä energiantuotantomuotoa). Tuloksien perusteella eri käsittelyvaihtoehtojen nettoympäristövaikutukset riippuvat erityisesti siitä, mitä oletuksia tehdään korvattavien prosessien osalta.



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment